

SCHRIFTENREIHE 3D@KMU

Herausgeber:

Prof. Dr. Heiko Wenzel-Schinzer

ARBEITSBERICHT 10

VOM ORIGINAL ZUR KOPIE:

Reverse Engineering für den 3D-Druck

Alexandra Fiedler

Die Möglichkeiten des Reverse Engineering sind vielfältig. Der Beitrag beschreibt das Vorgehen von der Idee bis zum druckreifen Modell. Es werden verschiedene Systeme vorgestellt und verglichen. Wirtschaftliche und rechtliche Aspekte werden beleuchtet.

Merseburg, Dezember 2016



Inhalt

1. Einleitung.....	3
2. Vom Original zur Kopie.....	3
2.1. Datenerfassung.....	4
2.1.1. Erfassen von Oberflächeninformation.....	5
2.1.2. Erfassen von Schnittbildinformation.....	7
2.1.3. Vergleich der Systeme.....	8
2.2. Datenaufbereitung.....	9
2.3. Datennutzung.....	11
3. Rechtliche Aspekte.....	12
4. Potentiale des Reverse Engineerings.....	13
Literaturverzeichnis	14

1. EINLEITUNG

Das Thema Internet der Dinge¹ bzw. der in Deutschland geprägte Begriff Industrie 4.0² ist derzeit in aller Munde. Es geht darum, dass im Internet der Dinge auch Objekte kommunizieren und über das Internet untereinander Informationen austauschen können. Die virtuelle Welt wird mit der realen Welt vereint.

Im Zusammenhang mit diesem Digitalisierungstrend werden Begriffe wie 3D-Druck, Rapid Prototyping, Direct Manufacturing und viele andere mehr häufig als Synonyme für die Schlüsseltechnologie Additive Fertigung³ genannt. Additive Fertigung beschreibt den schichtweisen Aufbau von Objekten auf Grundlage digitaler Vorlagen. Prinzipiell gibt es zwei Möglichkeiten an solche digitalen Modelle zu gelangen:

1. Konstruktion eines CAD-Modells
2. Datenerfassung eines vorhandenen Objektes.

Dieses Papier beschreibt das Vorgehen zum Punkt zwei, der Datengewinnung mithilfe eines bereits existierenden Objektes – dem sogenannten Reverse Engineering (RE). Dabei werden die unterschiedlichen Möglichkeiten der Datengewinnung geklärt und die Schritte der Datenaufbereitung für den 3D-Druck aufgezeigt. Außerdem erfolgt eine Betrachtung der rechtlichen und wirtschaftlichen Aspekte.

2. VOM ORIGINAL ZUR KOPIE

Abbildung 1 zeigt, wie der Prozess⁴ funktioniert. Im ersten Schritt werden die Daten des vorhandenen Objektes erfasst. Welche Möglichkeiten der Datenerfassung es gibt, beschreibt das folgende Kapitel. Danach müssen die Daten 3D-Druck-gerecht aufbereitet werden. Anschließend stehen die Daten zur Nutzung, also zur Erzeugung eines Drucks zur Verfügung.

¹ englisch: Internet of Things, Kurzform: IoT

² Informationen zu Industrie 4.0: <http://www.plattform-i40.de/> & Drefs, T. (2016). Industrie 4.0. Schriftenreihe 3D@KMU. (H. Schinzer, Hrsg.) Hochschule Merseburg. Von https://www.hs-merseburg.de/fileadmin/fb_ww/3D_KMU/3D_at_KMU_Arbeitsbericht7_I40.pdf

³ Informationen zu 3D-Druck und Verfahren: Gebhardt, A. (2007). Generative Fertigungsverfahren. Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Rapid Manufacturing (3. Ausg.). München: Carl Hanser. & Fiedler, A. (2015). Verfahren der Additiven Fertigung. Schriftenreihe 3D@KMU. (H. Schinzer, Hrsg.) Hochschule Merseburg. Von https://www.hsmerseburg.de/fileadmin/fb_ww/3D_KMU/3D_40KMU_Arbeitsbericht1_Verfahren.pdf

⁴ eine VDI-Richtlinie befindet sich in der Entwurfsphase (VDI 5620 Blatt 1 Reverse Engineering von Geometriedaten)



Abbildung 1: Prozesskette RE

2.1. Datenerfassung

Es gibt verschiedene 3D-Messverfahren zur zerstörungsfreien Datenerfassung. Daher ist es zielführend vor der Digitalisierung einige Überlegungen anzustellen, um eine effektive Arbeitsweise zu gewährleisten. Ein Ablaufplan zur Datenerfassung bereits existierender Objekte kann wie folgend beschrieben werden:

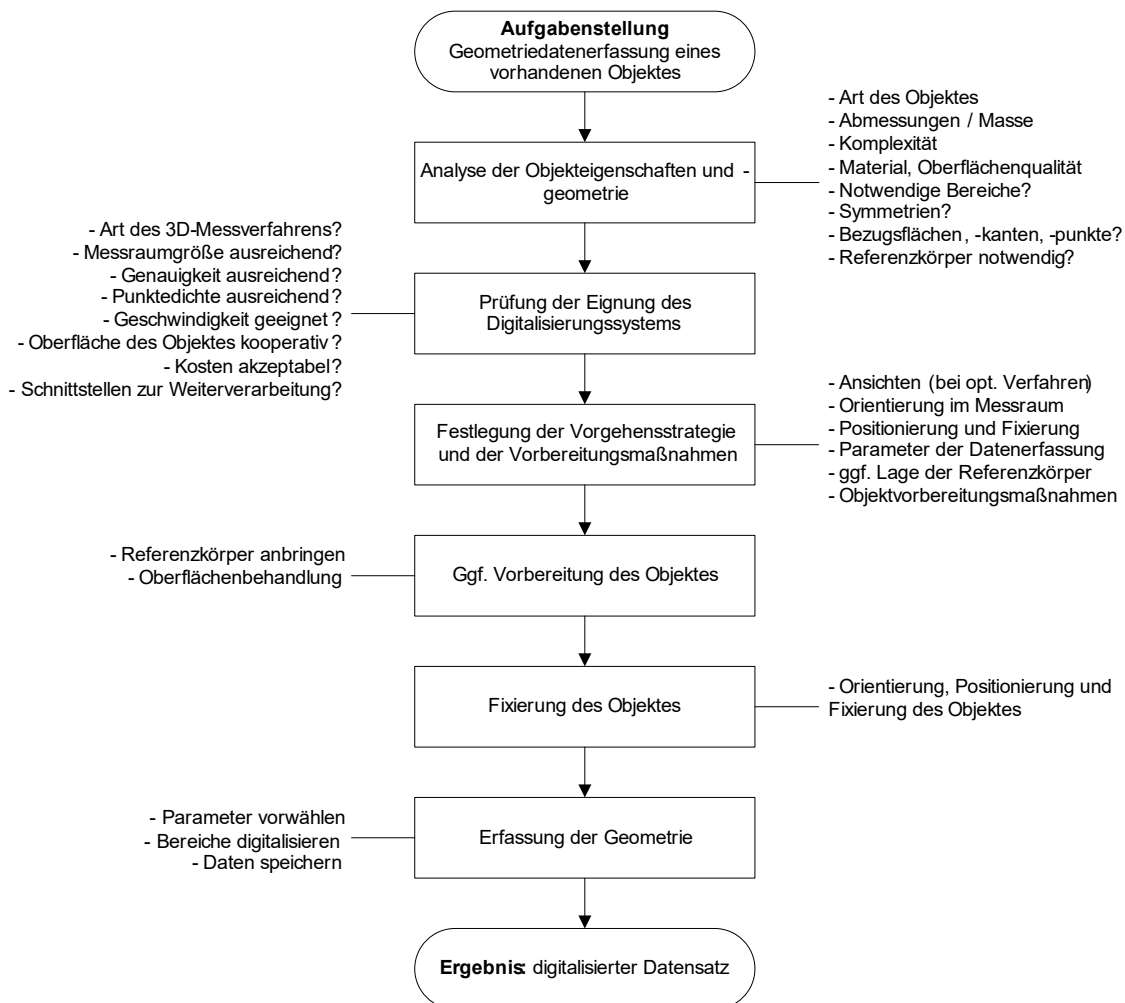


Abbildung 2: Ablaufplan zur Datenerfassung nach (Beyer, 2002, S. 67)

Um die richtige Auswahl beim Digitalisierungssystem treffen zu können, werden an dieser Stelle die verschiedenen Arten kurz genannt und gegenübergestellt. Es lassen sich, wie in Abbildung 3 dargestellt, zwei Arten zerstörungsfreier Datenerfassung unterscheiden:

1. Erfassung von Oberflächeninformationen mit mechanisch tastenden (taktile) oder optischen Systemen
2. Erfassung von Schnittbildinformationen mit Ultraschalluntersuchungen, Magnetresonanztomografie (MRT) oder Computertomografie.

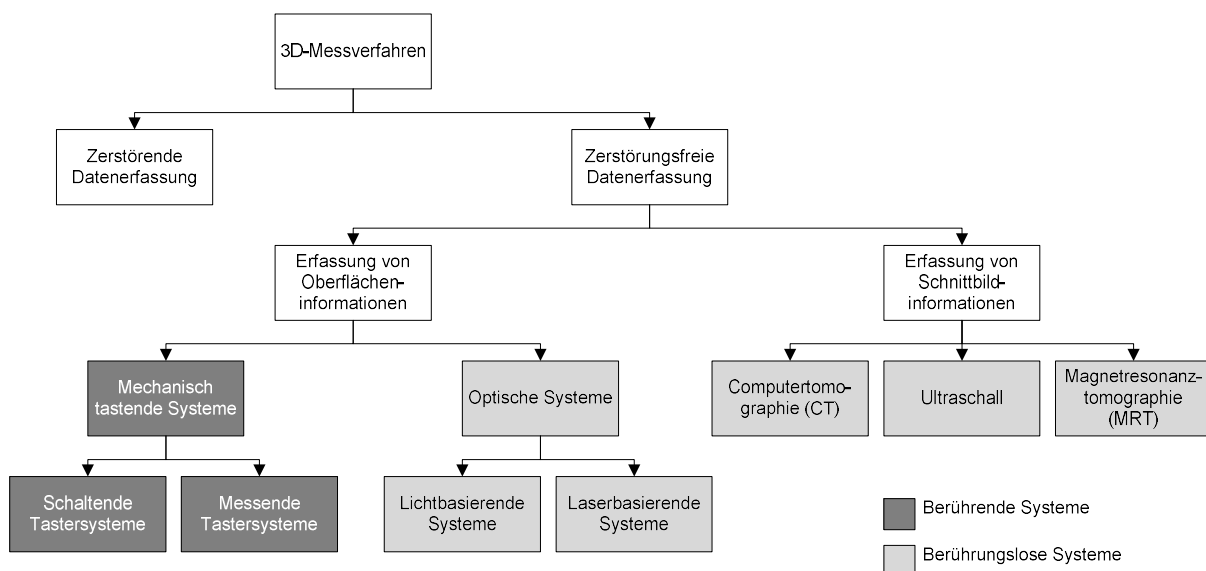


Abbildung 3: Klassifizierung der 3D-Messverfahren nach (Beyer, 2002, S. 17)

2.1.1. Erfassen von Oberflächeninformation

Die taktilen und optischen 3D-Messverfahren ermöglichen eine genaue Erfassung der Topografie eines Objektes. Die optische und die taktile 3D-Messtechnik beruhen beide auf dem gleichen Grundprinzip: Beide Verfahren stützen sich zur Maßberechnung und Formbestimmung auf Objektpunkte, die in einem dreidimensionalen Koordinatensystem definiert sind.

Taktile Messung

Eine in Industrie und Handwerk weitverbreitete Anwendung ist die Koordinatenmesstechnik (KMT). Die KMT ist ein universelles Messverfahren, bei dem die Werkstückoberfläche in einem Koordinatensystem punktwise abgetastet wird. Aus den so ermittelten Oberflächenpunkten werden über mehrere Zwischenschritte die zu ermittelnden Merkmale bestimmt. Es ist das Prinzip der Koordinatenmesstechnik, das „reale“

Flächenelement eines Werkstücks punktweise abzutasten und die Antastpunkte mathematisch miteinander zu verknüpfen. Dadurch entsteht ein „numerisches Bild“ der Oberfläche als zugeordnetes Geometrieelement (z.B. Geometrieelemente wie eine Ebene, ein Kreis oder ein Zylinder).

Taktile Messung heißt, dass bei jedem Messvorgang das zu messende Werkstück berührt wird. Hier liegt auch der Nachteil dieser Verfahren, bei bestimmten Materialeigenschaften wie beispielsweise Plastizität und bestimmten Gestalteeigenschaften wie Hinterschnitte stößt diese Messtechnik an ihre Grenzen.

Die taktile Messtechnik fährt das Objekt bei Vermessung an, was zu fehlerhaften Messungen führen kann. Dennoch ist die hohe Messgenauigkeit der taktilen 3D-Messtechnik nicht zu leugnen, die aufgrund der hohen Anzahl der zu antastenden Objektpunkte gegeben ist.

Optische Messung

Die optische Messtechnik ermöglicht ein berührungsloses und sehr schnelles Erfassen des Oberflächenprofils eines Objekts, so dass man auch verformbare und sehr weiche Objekte zerstörungsfrei und in kürzester Zeit vermessen kann. Die optischen Messverfahren reichen von eindimensional messenden Abstandssensoren, über zweidimensionale Messverfahren (Lichtschnittverfahren) bis hin zu dreidimensionalen Verfahren, die zum Beispiel in der Streifenprojektion Anwendung finden. Die optischen Verfahren lassen sich nach Art der Lichtquelle unterscheiden:

- sichtbares Licht-projizierende Systeme und
- Laserlicht-projizierende Systeme.

Das *Streifenprojektionsverfahren* ist ein typischer Vertreter der ersten Art der genannten Systeme. In der einfachsten Form des Verfahrens werden durch einen Projektor Streifen erzeugt. Mithilfe der projizierten Streifen werden gleichzeitig oder kurz nacheinander mehrere Lichtschnitte über das Objekt gelegt und mit einer Kamera aus einer anderen Richtung aufgenommen. Aus den mit der Kamera aufgezeichneten verzerrten Linienmustern kann nun die Geometrie des Objektes berechnet werden.

Ein Beispiel für ein Laserlicht-projizierendes System ist das *Laser-Triangulationsverfahren*. Hier wird mit einem Laser ein Lichtpunkt auf das Messobjekt projiziert. Das

Licht wird vom Objekt reflektiert und auf einem positionsempfindlichen Detektor abgebildet. Mithilfe verschiedener Berechnungen und der Triangulation⁵ wird die Lage des betrachteten Objektpunktes bestimmt.⁶

2.1.2. Erfassen von Schnittbildinformation

Bei diesen Verfahren werden aus einer Serie von zweidimensionalen Querschnittbildern des Untersuchungsgegenstandes, die in digitale Punkte (Pixel) aufgelöst werden, Kurveninformationen abgeleitet. Anschließend erfolgt die dreidimensionale Rekonstruktion des Volumenmodells. Verfahren der Schnittbildmethode sind Ultraschalluntersuchungen, Magnetresonanztomografie (MRT) oder Computertomografie (CT). Bis vor einigen Jahren waren solche Verfahren aus Kostengründen medizinischen Anwendungen vorbehalten. Inzwischen ist die Technik derart weiterentwickelt, dass sie auch im fertigungstechnischen Umfeld zum Einsatz kommt. Beispielhaft wird nachfolgend kurz auf die Funktionsweise eines industriellen CTs eingegangen.

Industrieller CT-Scan

Im Unterschied zur medizinischen Anwendung sind es bei der industriellen Anwendung die Objekte, die sich drehen. Möglich wird das durch die Platzierung des Objektes auf einem Drehtisch, welches dann auf dem Detektor abgebildet wird. Während einer 360°-Drehung werden Röntgenbilder aufgezeichnet. Ein Bildstapel (durch die Drehung zylindrisch) von Grauwertbildern ist das erste Ergebnis eines CT-Scans. Derart digitalisierte Grauwertverteilungen werden Voxel- oder Volumendaten genannt. Nachfolgende Abbildung verdeutlicht das Prinzip.

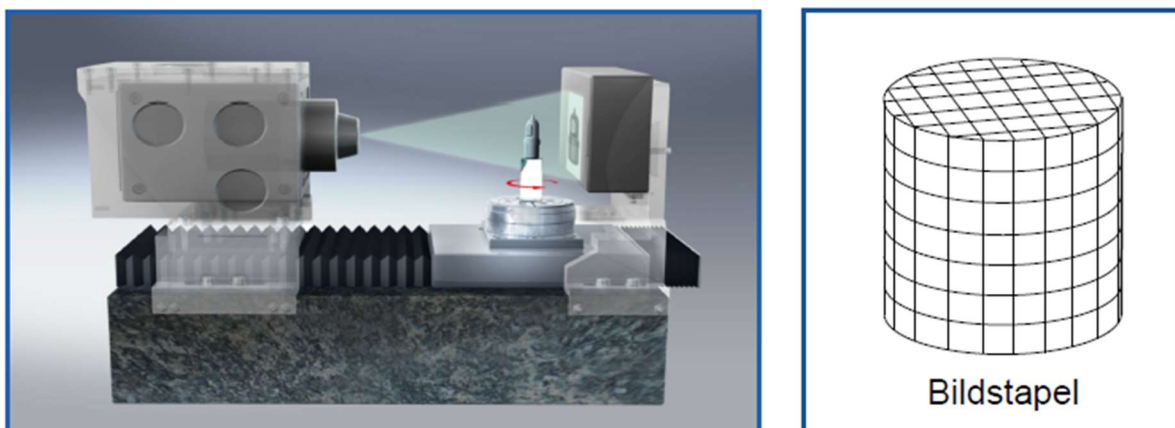


Abbildung 4: Aufbau industrieller CT (Quelle: WENZEL Group)

⁵ Beschreiben der Oberfläche durch Aufteilung in Dreiecke

⁶ Eine detaillierte Beschreibung der Messverfahren findet sich in (Keferstein & Marxer, 2015)

Die Grauwerte beinhalten Informationen über die Materialdichte. Je heller der Grauwert, desto größer ist die Materialdichte. So erscheint die Luft im Messraum aufgrund der niedrigen Dichte schwarz und die zu scannenden Objekte entsprechend ihres Materials abgestuft heller.

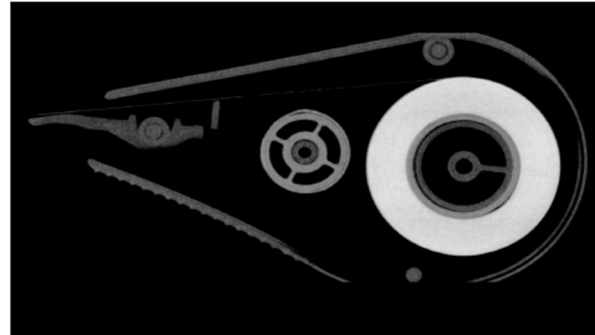


Abbildung 5: Grauwertbild (Quelle: WENZEL Group)

Die Computertomografie verwendet Röntgenstrahlen, besondere Vorkehrungen wie bei der medizinischen Anwendung sind jedoch nicht notwendig. Bei den industriellen CTs handelt es sich mehrheitlich um Vollschutzgeräte, die ohne weiteres im Messraum betrieben werden können.

2.1.3. Vergleich der Systeme

Jedes der beschriebenen Messverfahren hat spezifische Vor- und Nachteile. Sie unterscheiden sich technologisch durch:

- die erreichbaren Genauigkeiten
- die Punktdichte (Auflösung)
- die Geschwindigkeit der Punkterfassung (Punkte/min)
- die Abbildung schlecht zugänglicher Bereiche (Kanten, Hinterschneidungen, Hohlräume)
- den Geräteaufwand und
- den Bedienungsaufwand.

Taktile Messtechnik	Optische Messtechnik	CT-Messtechnik
Messprinzip		
- Messung durch Antasten - Schaltende und messende Systeme - Punktuelle Messung	- Messung durch Bilder - Flächenhaft bei Scanner - Berührungslos	- Messung durch Querschnittbilder - Rekonstruktion Volumendaten - Berührungslos
Ergebnis		
- Oberflächeninformationen - Maße - Geometrien - Form und Lage	- Punktwolke (Oberflächeninformationen) - Maße - Geometrien	- 2D-Bilddaten - Maße - Geometrien (auch innere Konturen) - Form und Lage
Vorteile		
- Sehr hohe Messgenauigkeit (bis Sub- μm -Bereich) - Oberflächen unabhängig von Farbe und Struktur möglich - ausgereifte Gerätetechnik	- hohe Messgenauigkeit - hohe Digitalisierungsgeschwindigkeit	- hohe Messgenauigkeit - problemlose Erfassung von Freiformflächen, Hinterschnitte - komplette Erfassung aller außen UND innen Konturen

	- gut geeignet auch für empfindliche, elastische und filigrane Modelle	
Nachteile		
<ul style="list-style-type: none"> - sehr zeitintensiv (punktweise bzw. zeilenweise Messwertfassung) - Probleme bei empfindlichen oder flexiblen Materialien - Probleme bei sehr feinen und schmalen Innenkonturen - Probleme an Ecken und Kanten - Kompensation des Tasterradius erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> - Probleme bei optisch nicht kooperativen Flächen (Reflektivität, Absorption, Transparenz) - Schwierigkeiten bei scharfen Kanten, Ecken, Hohlräumen, tiefen Öffnungen und Innenkonturen durch Lichtstreuung bzw. Abschattung 	<ul style="list-style-type: none"> - abhängig von der Leistungsklasse [kV] des Gerätes nur bis zu einer bestimmten Materialdicke anwendbar - messbare Objektgröße systemabhängig - vergleichsweise hohe Anschaffungskosten

Tabelle 1: Vergleich 3D-Messverfahren

2.2. Datenaufbereitung

Nachdem die Geometriedaten des Objektes erfasst wurden, erfolgt die Aufbereitung der Daten für die nachfolgende Nutzung. Der angestrebte Verwendungszweck bestimmt die Art und Weise der Aufbereitung. Abbildung 6 zeigt das Vorgehen von der Datenerfassung, je nach verwendetem System, über die 3D-Druck-gerechte Datenaufbereitung bis zur Nutzung.

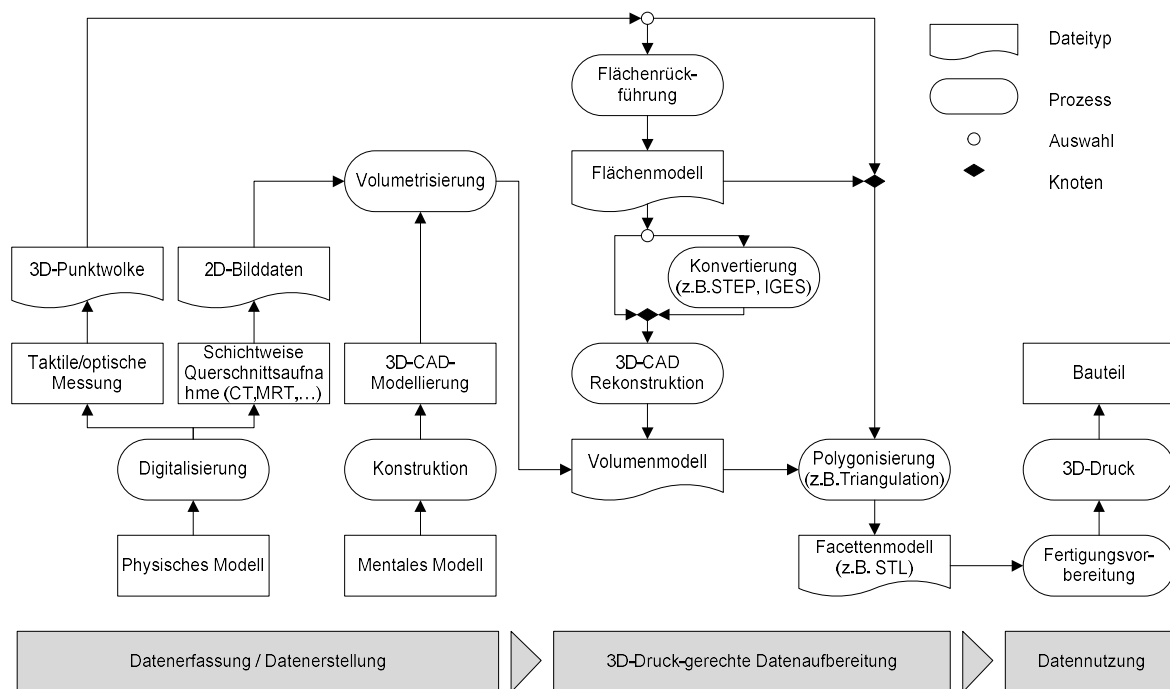


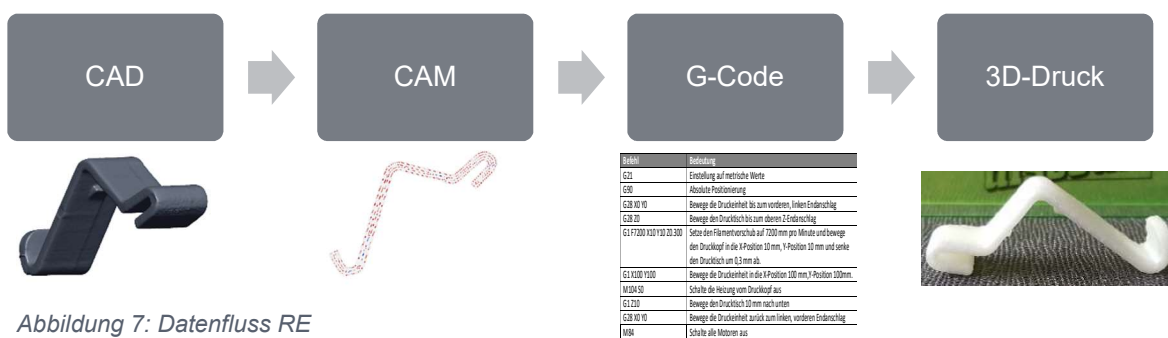
Abbildung 6: Prozess mit Datentransfer für 3D-Druck nach (Danjou & Koehler, 2008)

Wie im Bild erkennbar ist die Datenaufbereitung, abhängig von der Art der Datenerfassung, unterschiedlich aufwendig. Ein umfassender Standard in der Produktionstechnik für den Austausch von kompletten, rechnerinternen Produktmodellen ist STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data). STEP ist als Dateiformat für den neutralen Austausch kompletter Produktdaten zwischen CAX-Systemen (dreidimensionales CAD) entwickelt worden. Gleichzeitig ist es auch eine geeignete Grundlage zur Generierung von STL-Dateien (Standard Transformation Language). STL ist ein Datenformat mit triangulierten Facetten zur Oberflächenbeschreibung, wie es für den 3D-Druck benötigt wird. Alle gängigen CAD-Systeme sind in der Lage, das neutrale Datenformat STL auszugeben. Durch den Export in das STL-Format werden alle Objekte in Dreiecke umgewandelt, aus dem 3D-Modell wird ein Flächenmodell erzeugt. Zusammenfassend bedeutet das, die erfassten dreidimensionalen Modellbeschreibungen können entweder direkt zur Anlagensteuerung genutzt werden oder müssen entsprechend konvertiert⁷ werden. Die erzeugte STL-Datei muss nun durch eine weitere Software für den 3D-Druck verarbeitet werden. Hierzu werden sogenannte CAM-Programme (Computer-Aided Manufacturing) eingesetzt. Aufgabe dieser Programme ist es, für den jeweiligen Drucker notwendige Informationen zu erzeugen. Hier erfolgt beispielsweise der sogenannte Slice-Vorgang, also das Zerlegen des Modells in dünne Schichten. Folgende Informationen werden erzeugt:

- Schichtstärke
- Stützstrukturen
- Hilfsstrukturen
- Reparaturen von Fehlern am Flächenmodell, die durch die Umwandlung aus dem 3D-Modell entstehen
- Abhängig vom Druckverfahren Aufbereitung der einzelnen Schichten in Punkte, Konturen, Bahnen
- Druckmaterial (z.B. Temperaturen und Materialmengen)
- thermische Effekte (z.B. Materialschrumpfung und Verfestigungszeiten)
- Generieren von Füllungen
- Festlegen von Druckgeschwindigkeiten

⁷ andere Formate statt STEP sind z.B. IGES, VDA-FS

Nicht jedes CAM-Programm ist für jeden Drucker geeignet. Viele Druckanlagenhersteller liefern eine proprietäre Software mit oder geben zumindest Empfehlungen. Denn es gibt auch Programme wie zum Beispiel CURA, Repetier Host oder Slic3r, die verschiedene 3D-Drucker unterstützen und zudem kostenlos im Internet zum Download bereitstehen. Die so im CAM-Programm festgelegten Parameter sind für die Maschine 3D-Drucker noch nicht verständlich. Daher erfolgt quasi eine Übersetzung in Maschinensprache und das Schichtenmodell wird als G-Code erzeugt. G-Code ist keine Erfindung für den 3D-Druck, vielmehr ist es eine Programmiersprache für CNC-Maschinen (Computerized Numerical Control). Der G-Code beschreibt grob gesagt die Reihenfolge der Koordinaten, welche anzufahren sind und ob ggf. der Drucktisch in z-Richtung bewegt wird oder nicht. Der Drucker „versteht“ nun die Druckaufgabe und der Druck kann starten.



2.3. Datennutzung

Bevor der 3D-Druck starten kann, sind abhängig von der jeweiligen 3D-Druckanlage Vorbereitungen zu treffen. So muss ggf. der Drucktisch mit Klebstoff oder Klebeband versehen werden, damit das Objekt anhaftet. Material muss eingefüllt werden, das Gerät regelmäßig gewartet und gereinigt werden. Der Drucktisch muss unter Umständen kalibriert werden, um eine absolut waagerechte Position zur z-Achse zu gewährleisten. Je sorgfältiger die Vorbereitung, desto besser das Druckergebnis.

3. RECHTLICHE ASPEKTE

Mit den Möglichkeiten, die Reverse Engineering und 3D-Druck bieten, stellt sich für Unternehmen zwei rechtliche Fragen:

1. Wie ist unternehmerisches Know-how zu schützen?
2. Wann ist kopieren erlaubt?

Prinzipiell stehen Unternehmen zwei Möglichkeiten zur Verfügung ihr Spezialwissen zu schützen, der Sonderrechtsschutz und die Geheimhaltung.⁸ Um Know-how schützen zu lassen, gibt es das Urheberrecht sowie das Patent- und Gebrauchsmusterrecht. Dieser Schutz von Rechtswegen ist allerdings zeitlich begrenzt und es gibt einige Voraussetzungen, die zu erfüllen sind. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die jeweiligen Bedingungen und zeitlichen Begrenzungen.

Gesetz	Voraussetzung	Schutzfrist	Anmerkung
Urheberrecht	verlangt das Vorliegen eines „Werkes“ und eine „persönliche geistige Schöpfung“ (§2 Abs. 2 UrhG)	bis zu 70 Jahre (§64 UrhG)	Keine Veröffentlichung von Know-how notwendig
Patentschutz	erfordert, dass das „Know-how“ auf einer „erfinderischen Tätigkeit“ beruht (§§1, 4 PatG)	maximal 20 Jahre (§16 Abs.1 S.1 PatG)	Offenbarung von Know-how im Erteilungsverfahren → kein Schutz gegen Kenntnisnahme, nur gegen unlicenzierte Benutzung
Gebrauchsmuster-schutz	setzt einen „erfinderischen Schritt“ voraus (§1 Abs.1 GebrMG)	maximal 10 Jahre (§23 Abs.1 GebrMG)	

Tabelle 2: Übersicht gewerbliche Schutzrechte

Das heißt, der rechtliche Schutz hat Grenzen. Viele Unternehmen reagieren auf den limitierten gesetzlichen Schutz mit strenger Geheimhaltung. Die Geheimhaltung wird zum einen dadurch gewährleistet, dass nur wenige ausgewählte Mitarbeiter Kenntnis davon haben, zum anderen unterliegen Betriebsgeheimnisse strafrechtlichen Schutz (§ 203, § 204 Strafgesetzbuch und §§ 17 ff. UWG⁹). Eine gesonderte Regelung für den Bereich RE existiert bislang nicht. RE kann dazu verwendet werden Urheber- und Schutzrechte zu umgehen. Es ist dazu geeignet Plagiate herzustellen, dies kann zu Rechtsverletzungen führen, die Gesetzgebung sieht dafür je nach Tatbestand die Androhung mehrjähriger Haftstrafen vor. Eine Prüfung auf bestehende Urheber- und Schutzrechte ist vor Anwendung von RE daher ratsam. RE zu Analyse Zwecken ist

⁸ weitere Ausführungen in (Kochmann, 2009)

⁹ Gesetz gegen den unlauteren Wettbewerb

davon ausgenommen, eine eingehende Analyse von Konkurrenzprodukten ist erlaubt und unterliegt keinem strafrechtlichen Schutz.

4. POTENTIALE DES REVERSE ENGINEERINGS

Um das beantworten zu können, muss man sich die unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten von RE anschauen. RE kommt zur Anwendung bei:

- Informationsdefiziten. Produkte von Wettbewerbern werden hierbei analysiert mit dem Ziel bekannte Lösungsansätze durch Kombination und Variation zu neuen Ideen zu entwickeln.
- Teilen ohne technische Zeichnung. Anstatt zeitaufwendig und damit teuer neu zu modellieren, ist RE ein schnelles und kostengünstiges Verfahren zur Datenerfassung.
- Änderung der Fertigung aufgrund eines rentableren Verfahrens. Beispielsweise ist hier der 3D-Druck zu nennen, für dessen Anwendung ein digitales Modell Voraussetzung ist.
- zerbrochenen bzw. beschädigten Teilen. Es ist möglich, nach der Digitalisierung solche Teile zu reparieren und u.a. durch 3D-Druck zu reproduzieren.
- Ersatzteilen. Durch RE wird die kostengünstige Herstellung von Ersatzteilen beispielsweise nach Auslauf einer Serie möglich. Dazu müssen lediglich alle produktionsrelevanten Daten in geeigneter digitaler Form aufbewahrt werden.
- Weiterentwicklung von Bauteilen. Sind die Informationen digital erfasst, kann dieses Modell beeinflusst und verändert werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, der Einsatz von RE und 3D-Druck kann die Produktentwicklungszeit erheblich verkürzen. Gerade unter dem wachsenden Innovationsdruck, unter welchem Unternehmen zunehmend stehen, ein klarer Wettbewerbsvorteil. Ebenso sind Einsparungen im Bereich der Ersatzteillagerung und -logistik möglich, wenn diese on-demand gedruckt werden.

LITERATURVERZEICHNIS

- Berger, U., Hartmann, A., & Schmid, D. (2013). *Additive Fertigungsverfahren. Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Rapid Manufacturing*. Haan-Gruiten: Europa-Lehrmittel.
- Beyer, C. (2002). *Nutzung der 3D-Digitalisierung bei der Entwicklung von Produkten*. Aachen: Shaker Verlag.
- Danjou, S., & Koehler, H. (2008). Vorbereitung von CAD-Konstruktionsdaten für den RP-Einsatz – eine Schnittstellenproblematik. *RTEjournal - Forum für Rapid Technologie, Vol. 5 (2008)*. Abgerufen am 29. 11 2016 von <https://www.rtejournal.de/ausgabe5/1509>
- Drefs, T. (2016). Industrie 4.0. *Schriftenreihe 3D@KMU*. (H. Schinzer, Hrsg.) Hochschule Merseburg. Von https://www.hs-merseburg.de/fileadmin/fb_ww/3D_KMU/3D_at_KMU_Arbeitsbericht7_I40.pdf abgerufen
- Fiedler, A. (2015). Verfahren der Additiven Fertigung. *Schriftenreihe 3D@KMU*. (H. Schinzer, Hrsg.) Hochschule Merseburg. Von https://www.hs-merseburg.de/fileadmin/fb_ww/3D_KMU/3D_40KMU_Arbeitsbericht1_Verfahren.pdf abgerufen
- Gebhardt, A. (2007). *Generative Fertigungsverfahren. Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Rapid Manufacturing* (3. Ausg.). München: Carl Hanser.
- Keferstein, C., & Marxer, M. (2015). *Fertigungstechnik. Praxisorientierte Grundlagen, moderne Messverfahren* (8. Ausg.). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Kochmann, K. (2009). *Schutz des "Know-how" gegen ausspähende Produktanalysen ("Reverse Engineering")*. Berlin: De Gruyter Rechtswissenschaften.