

# Schnell, genau und glatt – welche ist die beste 3D-Druckertechnik?

*Die Antwort ist bei weitem nicht so einfach wie der Vergleich von SLA mit DLP. Das Verständnis von Technologien zur Pixelverschiebung und Graustufendarstellung, die bei 3D-Gegenständen zur harmonischen Kantenglättung beitragen, können anspruchsvolle Geschäftskunden bei ihrer Entscheidung unterstützen.*

**N**icht alle 3D-Druckerzeugnisse entstehen auf dieselbe Art, und diese Tatsache lässt sich auch innerhalb einzelner 3D-Druckverfahren mit bloßem Auge erkennen.

Die Neulinge auf diesem Feld diskutieren manchmal, ob SLA oder DLP bei der endgültigen 3D-Druckausführung die überlegene Technologie ist. Aber selbst zwischen SLA-Verfahren (Stereolithografie) und DLP (digitale Lichtverarbeitung) gibt es beim technischen Ansatz bedeutende Unterschiede und damit auch beim Endprodukt.

Sucht man nach dem schnellsten und genauesten 3D-Drucker mit der besten Auflösung und abschließender Oberflächenbehandlung, ist, sofern das Geschäftsergebnis auf dem Spiel steht, das Beachten dieser Details wichtig.

Warum? Weil Nachbearbeitung das besondere Geheimnis bei 3D-Druckverfahren ist und niemand Zeit und Geld bei 3D-Druckteilen einsparen möchte, nur um diese Einsparungen beim fertiggestellten Teil, wegen notwendigen umfangreichen Reinigungs-, Schleif- und Polierarbeiten, wieder zu verlieren.

## SLA versus DLP – Eine einfache Analyse

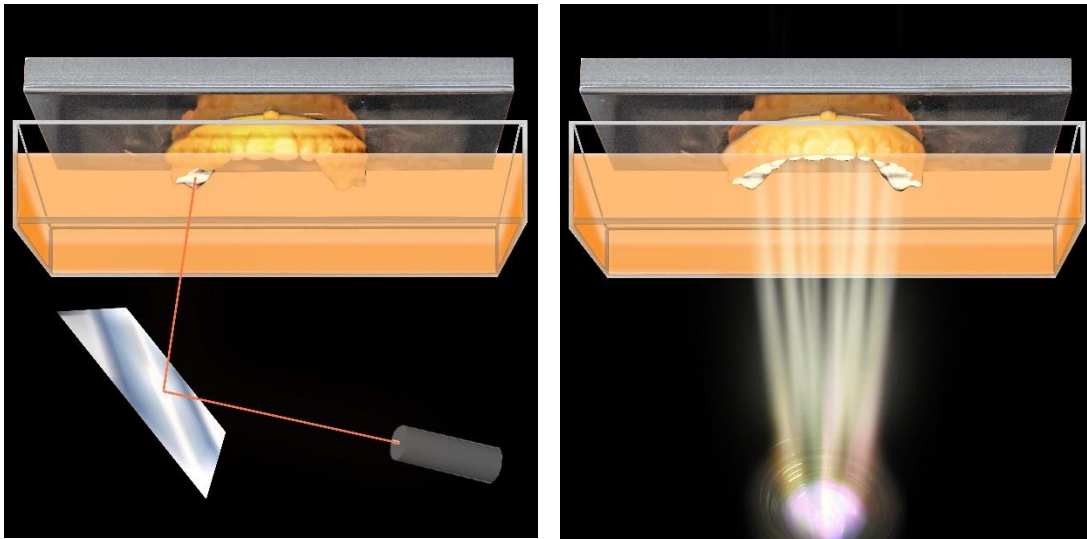
**D**as Konzept der SLA- und DLP-Technologie ist unkompliziert. Eine Wanne voll Photopolymer oder Harz wird einer Lichtquelle ausgesetzt, die das Material über eine digitale Entwurfsdatei zu einem endgültigen Objekt härtet.

Für SLA wird das Licht von einem Laser erzeugt. Für DLP ist es ein hochauflösender Projektor.



*In einer etwas sehr vereinfachten Analyse nimmt das Für und Wider leicht Formen an. Bei der Nachbearbeitung ist die Oberflächenbearbeitung wichtig, doch auch Genauigkeit ist ausschlaggebend. Diese Teile haben ein identisches digitales Modell, der EnvisionTEC DLP liefert aber eine Teilegenauigkeit von 96,3%, während es bei der SLA-Version nur 68.0% sind.*

Bei SLA zeichnet der Laserstrahl buchstäblich - Lithografie bedeutet „schreiben“ - das Teilbild in die Harzwanne. Er zeichnet inwendig, allerdings nicht immer in dieser Reihenfolge, und härtet die Flüssigkeit, buchstäblich eine Linie nach der anderen und eine Schicht nach der anderen, bis das Teil fertiggestellt ist.



*SLA zeichnet ein Teil mittels Laserstrahl buchstäblich innerhalb des Harzes, ein zeitaufwendiges Verfahren. DLP ist schneller, weil nicht jede einzelne Linie gezeichnet wird und sich bei jeder Belichtung große Mengen von Harz härten lassen.*

Auch wenn der Drucker sehr schnell ist, die Druckstrategie von SLA ist langsamer. Stellen Sie sich vor, Sie zeichnen jede Schicht mit spitzer Feder einzeln auf ein Blatt Papier, zeichnen den Umriss und kolorieren dann perfekt mit der gleichen Feder die dichten Mittelteile, und das Blatt für Blatt. Letztendlich mag dies länger dauern, dieses Verfahren liefert aber theoretisch ein fester gehärtetes Produkt mit feineren Kanten.

Beim typischen DLP blendet ein hochauflösender Projektor inzwischen eine vollständige Schicht auf das Polymer, ein Verfahren, das eher dem Einsatz eines Tintenstempels auf jedem Blatt gleicht. Doch da ein Projektor das Licht in Pixel sendet und damit volumetrisch Pixel oder Voxel im Harz erzeugt, gibt es eine unverkennbare rechteckige, pixelige Form, die glatte Kanten verhindert.

Dies ist eine schnelle, kritische Beurteilung von SLA versus DLP. Ist dies aber die ganze Geschichte? Nicht annähernd - besonders, wenn man sich mit der Vielfalt von Patenten beschäftigt, die weltweit zu diesen Verfahren angemeldet wurden.

Letztendlich geht es bei der Technologie des 3D-Druckverfahrens um Erfahrung.

---

Bedenken Sie: Gesetzt den Fall, DLP entdeckt einen Weg, wie sich die spitzen, pixeligen Kanten glätten lassen. Wäre dies dann, könnte dies - besser als das beste SLA-Verfahren sein?

---

Hochentwickelte DLP löst die Herausforderung des typischen DLP-Ansatzes und bietet konsequent Geschwindigkeit, Genauigkeit und eine glatte Oberflächenbeschaffenheit.

---

## Hochentwickelte DLP bietet Oberflächenqualität und Geschwindigkeit

**E**nvisionTEC verfügt bei 3D-Druckverfahren über Ingenieure, die Pioniere in der additiven Herstellung sind und diese Fragen vor über einem Jahrzehnt beantwortet haben. Daher ist das Unternehmen Branchenführer bei der Lieferung äußerst genauer DLP-Teile, bis auf 10 Mikrometern, und mit einer glatten Oberflächenbeschaffenheit, die nur eine geringe Nachbearbeitung verlangt.

Folglich bevorzugen etwa Hersteller von Hörhilfen und die Dentalbranche, die höchste Teilegenauigkeit und glatte, organische Formen benötigen, EnvisionTEC 3D-Drucker für Serien in der Einzelfertigung. Sechs von zehn der weltweit hergestellten Hörhilfen werden mit EnvisionTEC 3D-Druckern gefertigt und Zahnärzte, Kieferorthopäden und Dentallabore führen aus den gleichen Gründen, also der großen Genauigkeit und den glatten, problemlosen Oberflächen, zügig die hochentwickelten DLP-Drucker von EnvisionTEC ein.

EnvisionTEC setzt für das Liefern dieser hervorragenden Kurven und glatten Oberflächenbeschaffenheit verschiedene patentierte und proprietäre Ansätze ein.

Um zu verstehen, weshalb diese Techniken so gut funktionieren, muss man zuerst die Ursache des Problems beim typischen DLP-Ansatz benennen.

Ein Projektor sendet Licht in quadratischen Pixeln aus, das bei der Lichthärtung des Harzes volumetrisch Pixel, auch als Voxel bekannt, erzeugt. Entlang einer gekrümmten Kante entsteht etwas, das man in der Industrie als „Abstufung“ kennt, d. h. eine scharfe Kante, die an eines der anfänglichen 8-Bit Videospiele erinnert.

Erschwerend kommt hinzu, die Größe jedes Pixels ist durch eine einfache Formel festgelegt: Jedes Pixel hat die Größe des Teilraums oder Arbeitsraums, geteilt durch die Auflösung des Projektors. Je kleiner das zu druckende Objekt, desto weniger Probleme hat der Benutzer mit der Abstufung, doch je größer die Teile sind, desto ausgeprägter werden Pixel und Abstufung.

Drüber hinaus lässt sich die Größe der Pixel nicht ändern, ohne dass man die Größe des Projektors oder des Teilraums ändert.

Anfang der 2000-er Jahre entwickelte ein kleines Ingenieursteam in Deutschland und den Vereinigten Staaten unter der Leitung von Al Siblani, Gründer von EnvisionTEC und



*Al Siblani, links, Gründer von EnvisionTEC und CEO, sowie EnvisionTECs Technikvorstand Alexandr Shkolnik, leiteten die Entwicklung zweier Methoden von glatten und gepixelten Oberflächenkanten bei dreidimensionalen Objekten, unter Verwendung der DLP-Technologie. Ihre Patente für diese 3D-Kantenglättungstechniken wurden Anfang der 2000-er Jahre angemeldet.*

EnvisionTECs Technologievorstand Alexandr Shkolnik zwei getrennte Techniken zum Glätten gepixelter Stairsteps.

Ihre erste recht einfache Lösung schneidet die Größe jedes Stairsteps mit einem halben Pixel. EnvisionTEC meldete für diesen Ansatz ein Patent ([US7790093 B2](#)) im Jahre 2005 an.

## Lösung Nr. 1 eingeben: Das EnvisionTEC ERM

**E**nvisionTECs Enhanced Resolution Module (erweitertes Auflösungs-Modul) oder ERM, ist ein physisches Gerät, das im deutschen Werk des Unternehmens hergestellt wird und im Projektor, der das Licht ausstrahlt, eine verschwindend geringe und präzise Menge eines „Pixel Shifts“ erzeugt. Diese Verlagerung halbiert das Problem der Abstufung sowohl für kleine und große Objekte.

Wegen dieses Verfahrens ist die gebogene Oberflächenbeschaffenheit, die EnvisionTEC DLP-Drucker liefern, mindestens zwei Mal besser als die der Konkurrenten, selbst wenn die gleichen hochauflösenden Projektoren verwendet werden. Die Desktop- und Perfactory-DLP-Drucker von EnvisionTEC werden mit HD-Projektoren und verschiedenen Auflösungen, von 1400 x 1080 bis 1920 x 1200, geliefert.

Das ERM-Gerät ist kein einfaches „Modul“. Es handelt sich um ein komplexes elektromechanisches System. Eine Controller-Box liefert elektrischen Strom, einmal für die Bewegung auf der X- und einmal für die Bewegung auf der Y-Koordinate, an eine kleine quadratische Metallplatte mit einem Hohlraum, der direkt unter dem Projektor platziert ist. Wird dieses Gerät über Elektrizität strategisch aktiviert, kann dadurch eine verschwindend geringfügige und streng kontrollierte Bewegung auf X und Y stattfinden.

Das ERM verschiebt die Projektion um ein halber Pixel auf der X-Koordinate nach links oder rechts oder auf der Y-Koordinate um ein halber Pixel nach oben oder unten.

Bei der typischen DLP-Technik blendet ein 3D-Drucker vielleicht, während ein Objekt aufgebaut wird, eine ganze Bildebene für etwa 10 Sekunden ein. Mit der EnvisionTEC ERM-Technik der Pixelverschiebung wird jede Belichtung zwei Mal vorgenommen.



*Diese ist die Fotografie des EnvisionTEC Enhanced Resolution Moduls, das ein halbes Pixel auf X und Y verschiebt, damit die zweite Belichtung im DLP-Drucker sich leicht verschiebt und die Abstufung mittels einer hochentwickelten Kantenglättungstechnik reduziert. Der Projektor strahlt durch das Zentrum des Moduls.*

Bei diesem Beispiel dauert die erste Baseline der Belichtung vielleicht fünf Sekunden, während dieser Zeit soll die ursprüngliche Aushärtung stattfinden. Doch in den drauf folgenden fünf Sekunden wird die Belichtung um ein halbes Pixel auf der X-Koordinate nach links und auf der

---

**Das ERM verschiebt die Projektion um ein halbes Pixel auf der X-Koordinate nach links oder rechts oder auf der Y-Koordinate um ein halbes Pixel nach oben oder unten.**

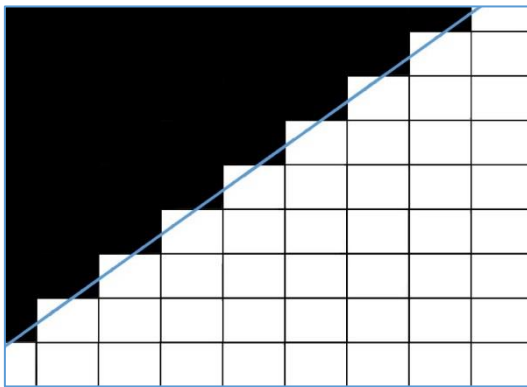
---

Y-Koordinate nach unten verschoben, wodurch die Abstufung um die Hälfte reduziert wird.

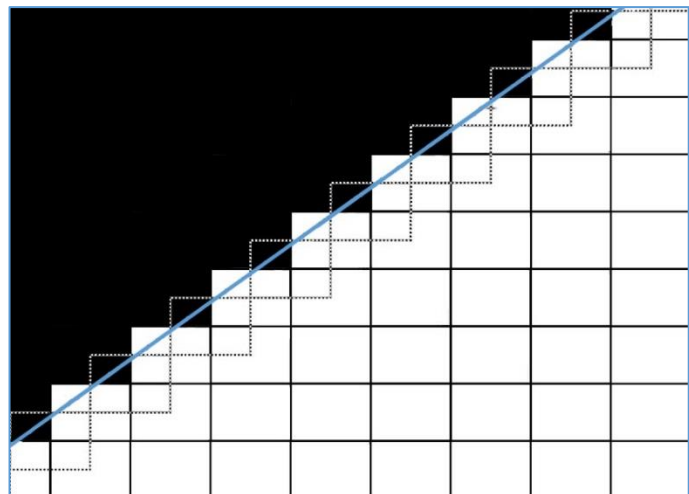
Diese Reduktion der Abstufungen kann, je nach Größe des aufgebauten fertigen Objekts, für das menschliche Auge die Abstufung praktisch unsichtbar machen.

Die Pixelverschiebung wird vollständig von der proprietären Perfoactory-Software von EnvisionTEC gesteuert und reguliert. Die Nutzer müssen diese nicht manuell steuern. Das System bearbeitet das Glätten der Oberflächenbeschaffenheit automatisch.

Beim Bemühen um die beste Oberflächenbeschaffenheit macht EnvisionTEC hier allerdings nicht Halt.



*Das Bild oben zeigt normal gepixelte Abstufungen beim typischen DLP-Ansatz. Doch mit dem ERM von EnvisionTEC werden bei der Pixelverschiebung, wie rechts zu sehen, die Pixel zur Hälfte auf der X- und Y-Koordinate der ursprünglichen Belichtung verschoben, wodurch die scharfe Abstufung zur Hälfte reduziert wird.*



Da gibt es aber noch mehr – Kantenglättung mit Graustufung

**E**nvisionTEC verbindet seine Strategie der Pixelverschiebung mit einer anderen patentierten Technik, genannt Graustufendarstellung, bei der es sich einfach ausgedrückt, um eine Kantenglättungstechnik für 3D-Objekte handelt.

Das erste Patent für diese Technik wurde 2007 in Deutschland und in den Vereinigten Staaten angemeldet. ([EP1849587 B1](#), [US20080038396A1](#), [US20070260349A1](#))

Anti-Aliasing-Technologien (Kantenglättung) sind heute sehr erfolgreich. Auf digitalen 2D-Plattformen erscheinen Bilder praktisch überall digital, so auch bei Videospielen und auf dem Fernsehbildschirm bis hin zu ziemlich allem, was über einen digitalen Monitor verfügt. In der digitalen Welt von heute gibt es beim Anti-Aliasing viele Hightech-Verfahren, mit denen die Kanten aller gepixelten Bilder, die wir täglich zu Gesicht bekommen, geglättet werden.

---

Anti-Aliasing-Technologie, die gepixelte Kanten glättet, ist in der digitalen Welt heute eine Selbstverständlichkeit, doch EnvisionTEC hat entdeckt, wie diese Technik beim 3D-Druck eingesetzt werden kann.

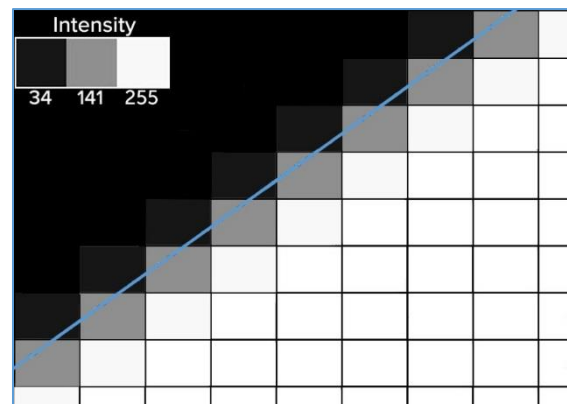
---

EnvisionTEC war das erste Unternehmen mit 3D-Druckverfahren, das eine Methode entwickelte, diese Anti-Aliasing-Strategie für 3D Voxeln von einem Projektor zu konvertieren.

Nachdem die ERM-Technologie von EnvisionTEC Abstufungen halbiert hat, glättet die proprietäre Graustufentechnik die noch verbliebenen „Treppeneffekte“, also die Abstufungen bei Bildern, wie man sie in den Videospiele-Kreisen kennt.

### Graustufentechnik glättet Kanten und ermöglicht 3D-Drucken mit weniger Schichten

**A**nders als beim SLA-Laserstrahl, der ein- und ausgeschaltet wird, kann ein HD-Lichtprojektor das Licht in vielen Schattierungen oder Intensitäten eines Lichtspektrums abgeben, das von weiß über grau bis zu schwarz reicht.



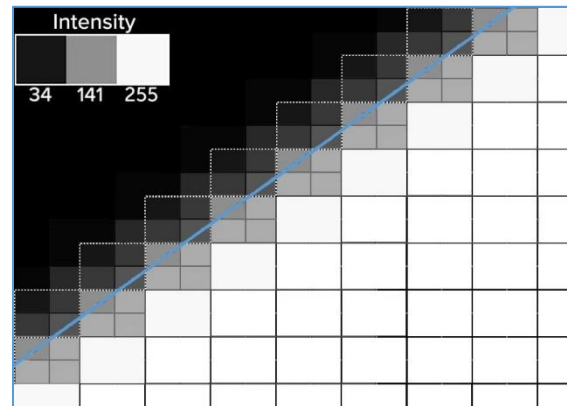
Es gibt zwischen weiß und schwarz 1.024 unterscheidbare Grauschattierungen. Die Technologie von EnvisionTEC verwendet 255 der Schattierungen, wobei reinweiß als 255 und tiefschwarz als Null festgelegt wurden, um so Ränder fortschrittlich und kontrolliert zu verwischen.

Die intelligente und proprietäre Software von EnvisionTEC steuert jedes einzelne Pixel am gekrümmten Rand eines Objekts, schiebt es in einen gefiederten Regenbogen aus Grauschattierungen, um dadurch einen glatten Rand zu liefern.

Wegen der unterschiedlichen Intensitäten, die die Graustufung ermöglicht, liefert jede Belichtung zudem,

einen anderen, einzigartigen Effekt.

Während die X- und Y-Koordinaten eines Pixels festliegen, lässt sich die Z-Tiefe eines Voxels je nach Lichtintensität, die über die Graustufung an jedes Pixel geliefert wird, anpassen. Das heißt, während bei den generischen Formen einer DLP flache Schichten auf flache Schichten gedruckt werden, druckt das DLP von EnvisionTEC jede Belichtung in unterschiedlichen Tiefen, und verfolgt damit eine 3D-Druckstrategie mit weniger Schichten, die die Glätte und Genauigkeit der Oberflächenbeschaffenheit verbessert.



*EnvisionTEC, so sie, wie unten gezeigt, mit der exklusiven unternehmensspezifischen Pixelverschiebung kombiniert wird, eine mikroskopisch glatte Oberflächenbeschaffenheit an den Kanten liefert.*

Das harmonische Zusammenspiel der ERM-Technologie zur Pixelverschiebung von EnvisionTEC, in Kombination mit der Graustufung, bietet eine Oberflächenbeschaffenheit von marktführender Qualität, ohne Streifenbildung oder Abstufung.

Zusätzlich zu dem was man sehen oder fühlen kann, zeigen auch Scans der fertigen Teile, dass dies Technologie präziser als SLA ist.

*Diese Teile wurden mit der gleichen digitalen Datei hergestellt und sehen vielleicht ähnlich aus. Das Bild links, das mit der weiterentwickelten DLP-Technologie von EnvisionTEC gedruckt wurde, hat eine glattere Oberflächenbeschaffenheit und ist präziser. Das mit EnvisionTEC gedruckte Teil hat eine Toleranz von 96,3%, hingegen verfügt das mit SLA gefertigte Teil über eine 69,8%-iger Genauigkeit.*





## Die DLP-Technologie von EnvisionTEC bietet Präzisions- und Geschwindigkeitsvorteile

**F**ür Zahnärzte, Kieferorthopäden und Dentallabore, die Präzision, glatte Oberflächenbeschaffenheit und Produktionsgeschwindigkeit verlangen, können die Unterschiede zwischen SLA und der weiterentwickelten DLP-Technologie von EnvisionTEC gravierend sein.

In einem Vergleichstest zwischen der EnvisionTEC Technologie und der Technologie von Konkurrenten, druckte EnvisionTEC drei Zahnmodelle, die in horizontaler Ausrichtung aufgebaut wurden, einmal auf einem EnvisionTEC Vida und einmal auf einem preisgünstigen SLA-Drucker aus.

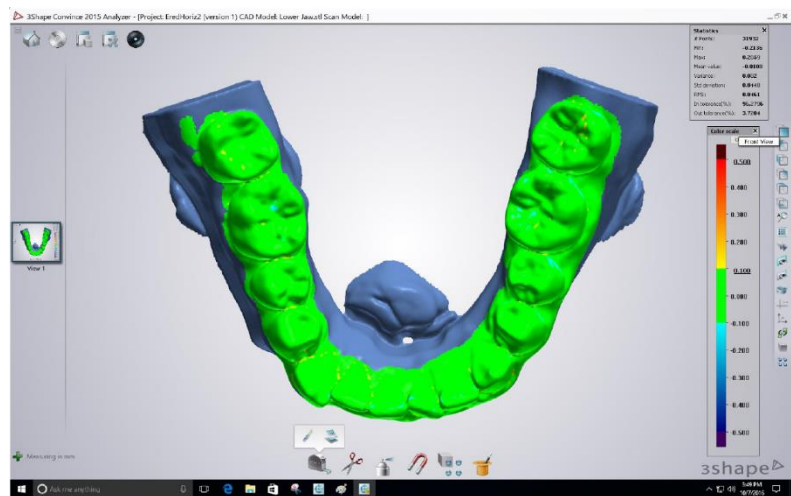
Die Präzision des von Vida hergestellten fertigen Teils lag, laut Messung der 3Shape Software, verglichen mit dem originalen Digitalmodell, bei 94,7% bis 96,3%.

Die SLA-Vergleichsteile hatten hingegen eine Genauigkeit, die im Bereich von 68,0% bis 79,1% lag.

Zudem ist es wichtig anzumerken, dass die Herstellung der Modelle im SLA-Drucker beinahe drei Stunden länger dauerten.

Die überlegene Präzision von EnvisionTEC, die Herstellungszeit und Oberflächenbeschaffenheit werden bei Quervergleichen mit konkurrierenden 3D-Druckern häufig wahrgenommen.

Dieses Zahnmodell wurde horizontal in auf einem EnvisionTEC Vida 3D Drucker gedruckt und verfügt im Vergleich mit dem originalen Digitalmodell über eine Scan-Genauigkeit von 96,3%.



Dieses Zahnmodell wurde auf einem preisgünstigen SLA 3D-Drucker gedruckt und verfügt im Vergleich zum originalen Zahnmodell über eine Scan-Genauigkeit von 69,8%. Das heißt, das Modell liegt mit 30,2% außerhalb des Toleranzbereichs.

