

# GENERATIVE KONSTRUKTION UND FACETTENMODELLIERUNG ZUR UNTERSTÜTZUNG VON INGENIEUREN



LIFECYCLE

INSIGHTS

# EINFÜHRUNG

Die Konstruktion von Produkten stellt heutzutage eine anspruchsvolle Herausforderung dar. Die Komplexität nimmt ständig zu, da immer mehr Technologien in Produkte integriert werden. Auch der Kooperationsbedarf steigt, weil mehr und mehr Lieferanten in den Entwicklungsprozess eingebunden werden. Im Zuge des Wettlaufs um die schnellstmögliche Markteinführung sind die Zeitpläne immer knapper bemessen. Konstrukteure, die mit einer Unmenge an Verantwortlichkeiten belastet sind, haben kaum Zeit, eine realisierbare Konstruktion zu entwickeln, geschweige denn, an weiteren Verbesserungen zu arbeiten.

Vor diesem Hintergrund stellen Ingenieure häufig fest, dass sie mehr Kapazitäten benötigen. Erfreulicherweise bietet eine neue Technologie, Generative Konstruktion, in dieser Hinsicht Anlass zu einiger Hoffnung. Auf Grundlage einer Reihe von Zwangsbedingungen, die von einem Ingenieur definiert werden, erzeugt diese Technologie autonom eine Reihe alternativer Konstruktionen unter Verwendung von Algorithmen wie der Topologieoptimierung sowie von Algorithmen, die der Natur entnommen sind. Generative Konstruktion fungiert im Prinzip wie ein Software-Mitarbeiter, der dem Ingenieur verschiedene Optionen präsentiert. Dadurch können die Ingenieure viel mehr Alternativen in Betracht ziehen, als bisher denkbar waren. Es gibt zahlreiche Anwendungen in den Bereichen Konzeptentwicklung und detaillierter Entwurf.

Die Integration der Ergebnisse der Generativen Konstruktion erfordert jedoch spezielle Geometriefunktionen, die als Facettenmodellierung bezeichnet werden. CAD-Anwendungen (Computer Aided Design) integrieren solche Funktionen erst jetzt gemeinsam mit der herkömmlichen parametrischen Modellierung und der Direktmodellierung. Dabei handelt es sich um eine

wichtige, häufig aber unterschätzte Zusammenstellung von Funktionen, die eng aufeinander abgestimmt sein müssen.

Der Zweck dieses E-Books besteht darin, einen Einblick in all diese Themen zu geben. Es beginnt mit der Betrachtung der Zwangsbedingungen, denen Ingenieure von heute unterliegen, und der Auswirkungen, die diese auf die Qualität der Konstruktionen haben. Als nächstes befasst sich das E-Book mit Generativer Konstruktion und bietet Einzelheiten zur Nutzung und technischen Überlegungen sowie die Anwendung dieser Technologie auf Konzeptentwicklung und detailliertem Entwurf. Abschließend werden die derzeit verfügbaren Lösungen mit zwei bzw. einer Anwendung genauer untersucht. Das E-Book enthält durchgängig Verweise auf Erkenntnisse aus den Studien von Lifecycle Insights.

Zweifelsohne stellt die Konstruktion von Produkten heutzutage eine anspruchsvolle Herausforderung dar. Neue Technologien wie Generative Konstruktion bieten jedoch die Möglichkeit, die Kapazitäten einer Person ohne großen zusätzlichen Aufwand zu erweitern. Davon profitieren sowohl der Konstrukteur als auch das Unternehmen.

# TECHNISCHE ZWANGSBEDINGUNGEN UND QUALITÄT DER KONSTRUKTIONEN

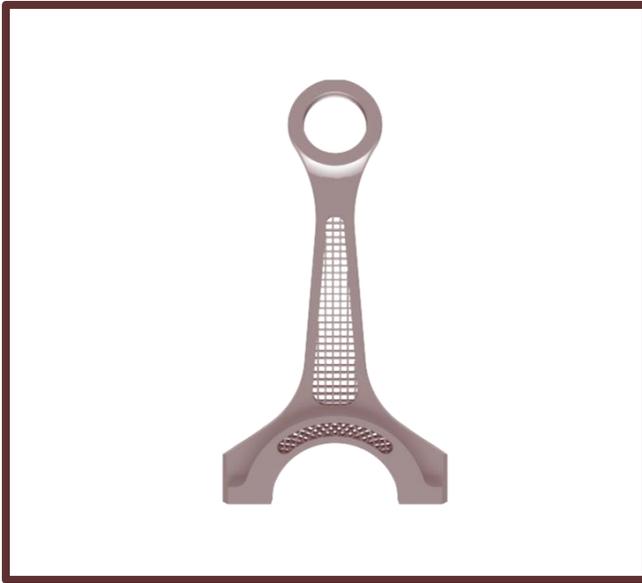
Jedes Konstruktionsprojekt ist ein Balanceakt. Auf der einen Seite unterliegt die Projektentwicklung Zwangsbedingungen wie einem Zeitplan, einem Entwicklungsbudget, Materialkostenzielen und funktionellen Anforderungen. Auf der anderen Seite steht das Bestreben, die funktionalen Anforderungen nicht nur zu erfüllen, sondern sie zu übertreffen, um innovativere und wettbewerbsfähigere Produkte zu realisieren. In den letzten Jahren hat eine Reihe von Trends dazu geführt, dass sich der Schwerpunkt hin zu konservativeren Konstruktionen verlagert hat. Dies hemmt die Innovationsbestrebungen der Unternehmen.

## INGENIEURARBEITEN SIND GRUNDSÄTZLICH VOLATIL

Ein Faktor, der Ingenieure dazu bringt, konservativer zu agieren, ist die Tatsache, dass neue Entwicklungen mit Risiken behaftet sind. Konstruktionsfehler, die über die Konstruktionsfreigabe hinaus bestehen, können weitreichende Auswirkungen auf die gesamte Entwicklung, insbesondere aber auf die Ingenieure haben. Änderungsaufträge, die wieder auf den Schreibtischen der Konstrukteure landen, bringen Mehrarbeit in Form von Ausschuss, Nacharbeit und fehlerhaften Prototypen mit sich. Darüber hinaus führen Konstruktionsfehler dazu, dass Zeit, Energie und Ressourcen gebunden werden und damit nicht für aktuelle Konstruktionsaufwände genutzt werden, was zu Verzögerungen bei laufenden Projekten führt. Tatsächlich haben 60% der Befragten der Studie [The Simulation Driven Design Study](#) aufgrund von fehlgeschlagenen Prototypen die Projektfristen nicht einhalten können.

## ZUNEHMENDE TECHNOLOGISCHE KOMPLEXITÄT

Ein weiterer Faktor, der Konstruktionen in Richtung eines konservativeren Ansatzes verschiebt, ist die zunehmende Komplexität der Technologien, die in die heutigen Produkte integriert sind. Die Trends in der Elektronik, einschließlich der fortschreitenden Miniaturisierung, des geringen Leistungsbedarfs und der Notwendigkeit einer größeren Wärmeableitung, machen es schwieriger, den ständig steigenden Bedarf an Rechenleistung in Produkten zu decken. Die stark ansteigende Nutzung von Software in Produkten wirft Fragen hinsichtlich der Integration auf, da diese Anwendungen nahtlos mit der elektronischen Hardware und anderen Systemen auf den Produkten zusammenarbeiten müssen. Mit dem Aufkommen des Internets der Dinge (Internet of Things, IoT) ist die Entwicklung noch schwieriger geworden, da Unternehmen herausfinden müssen, wie sie ihre Produkte mit den richtigen Sensoren ausstatten, wie sie die richtigen Daten erfassen, wie sie diese Daten in den richtigen Speicher streamen und dann auf diese Daten reagieren können. All dies fließt in mechanische Konstruktionen ein und führt zu erhöhter Komplexität und erschwerter Systemintegration.



### ZUSAMMENARBEIT MIT MEHR PROJEKTBETEILIGTEN

Ein weiterer Faktor, den es zu berücksichtigen gilt, ist die Anforderung an die Konstrukteure, mit einer steigenden Anzahl an Projektbeteiligten enger zusammenzuarbeiten. Um mit der Konkurrenz mithalten zu können, müssen die Hersteller immer wieder die neuesten Technologien integrieren – tun sie dies nicht, geraten sie ins Hintertreffen. Dies hat zur Folge, dass die Ingenieure mit Fachleuten in Nischenbereichen zusammenarbeiten müssen. Hinzu kommt, dass es nicht ausreicht, eine Konstruktion zu finden, die den Spezifikationen für Form, Passform und Funktion entspricht. Ingenieure müssen mehr leisten. Heutige unterliegen erheblichen betrieblichen und geschäftlichen Zwangsbedingungen, die sich auf die Entwicklungs-

lösungen auswirken. Daher sind Rückmeldungen von immer mehr Projektbeteiligten erforderlich, einschließlich derer von der Beschaffung, den Lieferanten, der Fertigung, den Kunden, dem Service und vielen anderen.

### VIELE VERANTWORTLICHKEITEN IN EINKLANG BRINGEN

Ein Faktor, der diese Schwierigkeiten noch verstärkt, ist die Tatsache, dass die heutigen Ingenieure bereits überlastet sind. Die Studie [Hardware Design Engineer Study](#) von Lifecycle Insights hat diese Herausforderung quantifiziert. In der Studie wurden die Befragten gebeten, aus einem Bereich von dreizehn zentralen und erweiterten Aufgabengebieten bei der Konstruktion diejenigen auszuwählen, die sie jeweils abdecken. Im Durchschnitt übernahmen die Ingenieure insgesamt 4,4 Kernaufgaben im Bereich der Konstruktion, darunter das Anforderungsmanagement, die Vorhersage der Produktleistung und vieles mehr. Darüber hinaus zeichneten die Ingenieure im Durchschnitt für 2,9 erweiterte Aufgabengebiete bei der Konstruktion verantwortlich, wie etwa Projektmanagement, Zusammenarbeit mit Lieferanten und mehr. Insgesamt sind das 7,3 Verantwortlichkeiten für den durchschnittlichen Ingenieur. Entscheidungen hinsichtlich der Konstruktion zu treffen stellt *nur eine* dieser Verantwortlichkeiten dar.

## KÜRZERE ZEITPLÄNE, ERSTE REALISIERBARE KONSTRUKTIONEN

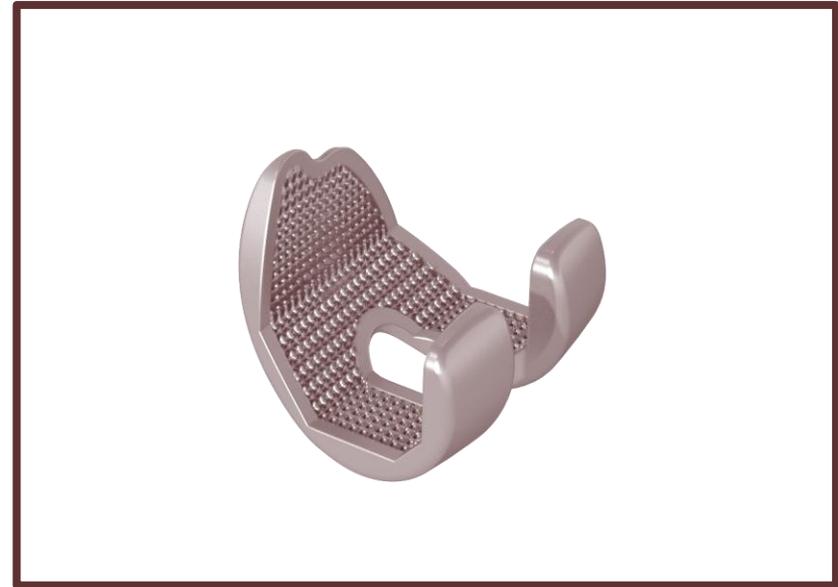
---

Der letzte zu berücksichtigende Faktor ist der immer kürzer werdende Zeitplan für die Produktentwicklung. Komprimierte Zeitpläne veranlassen Ingenieure dazu, gleich die erste realisierbare Konstruktion zu übernehmen. Im schlimmsten Fall erfüllen diese Entwürfe die Projektziele jedoch nur mit Einschränkungen. In solchen Fällen lässt das Unternehmen Möglichkeiten ungenutzt verstreichen, die Produktkosten zu senken, leistungsfähigere Produkte zu entwickeln oder Kundenanforderungen vollumfänglich zu erfüllen.

## WICHTIGE PUNKTE

---

Aufgrund einer Vielzahl von Faktoren bleibt Konstrukteuren heute weniger Zeit, immer komplexere Produkte zu entwickeln. Darüber hinaus haben Konstruktionsfehler schwerwiegende Folgen, sowohl für die Unternehmen als auch für die Konstrukteure selbst. Es ist also keine Überraschung, dass sie konservativere Konstruktionen entwickeln.



## GENERATIVE KONSTRUKTION IM ENTWICKLUNGSPROZESS

Ingenieure von heute arbeiten unter Bedingungen, die sie zur Entwicklung konservativerer Konstruktionen veranlassen. Um diesem Druck entgegenzuwirken, benötigen Ingenieure mehr Kapazitäten, um mehr zu erreichen. Dennoch wird von ihnen verlangt, trotz schwierigerer Anforderungen mehr zu leisten denn je. Hierbei kann eine neue Technologie namens Generative Konstruktion helfen.

### GENERATIVE KONSTRUKTION: WAS IST DAS?

Zunächst einmal ist Generative Konstruktion relativ einfach zu beschreiben. Es handelt sich um eine Funktion von CAD-Anwendungen, die autonom eine Reihe von Konstruktionsalternativen unter Berücksichtigung einer bestimmten Anzahl von Zwangsbedingungen erzeugt. Hierfür ist weder eine Anleitung noch eine Interaktion durch Ingenieure notwendig, wodurch diese für andere Aufgaben verfügbar sind. Nach der Fertigstellung können die Ingenieure wählen, welche Konstruktionsentwürfe sie genauer überprüfen möchten. Im Ganzen beschleunigt dies den Konstruktionsprozess, ohne dass der Ingenieur besondere Aufmerksamkeit investieren muss.

Bei der generativen Konstruktion werden Funktionen wie z. B. die Topologieoptimierung wirksam eingesetzt, bei der strukturelle Simulationen ausgeführt und Materialien entfernt werden, die keine Lasten tragen. Dies ist jedoch nur einer der Ansätze, die bei generativer Konstruktion zum Einsatz kommen. Die generative Konstruktion kann auch Verhaltensweisen nachahmen, die sich in der Natur finden. Dazu zählen die Replikation des Wachstums von Bakterienkolonien oder die Entwicklung von Knochengerüsten zur Optimierung des Verhältnisses zwischen Gewicht und Festigkeit.

Diese Ansätze werden genutzt, um den Entwurfsraum eines neuen Produkts zu untersuchen. Interessanterweise ermöglicht generative Konstruktion Entwürfe, die ein menschlicher Ingenieur vielleicht nie in Betracht gezogen hätte, was ganz neue Konstruktionsmöglichkeiten eröffnet.

### TECHNISCHE ÜBERLEGUNGEN

Generative Konstruktion funktioniert recht einfach. Die Dateneingabe erfolgt über ein 2D- oder 3D-Modell der Konzeptentwicklung oder der detaillierten Konstruktion. Anschließend legt der Ingenieur die Bedingungen fest, die es für die generative Konstruktion zu berücksichtigen gilt. Dies können Randbedingungen sein, wie z. B. eine feste Geometrie. Sie können jedoch auch geometrische Zwangsbedingungen enthalten, wie etwa das Verbot der Überziehung oder die Beibehaltung einer bestimmten geometrischen Form, so z. B. die Beibehaltung eines zylindrischen Körpers an einer bestimmten Stelle. Da generative Konstruktion meistens die Funktion der Topologieoptimierung nutzt, die sich auf die Funktionalität der strukturellen Finite-Elemente-Analyse (FEA) stützt, müssen andere Simulationselemente wie Materialeigenschaften und Lasten definiert werden.

Sobald Entwürfe durch generative Konstruktion erstellt und Material entfernt wird, eliminiert die Software einige der Elemente, die ein niedriges Spannungs- oder Dehnungsniveau aufweisen. Bezogen auf die Modellierung werden die durch generative Konstruktion erstellten Entwürfe mittels Netzgeometrie dargestellt, die aus den Tetraederelementen der Analyse generiert wird. Da das Modell vollständig aus diesen Elementen besteht, die ebene Flächen aufweisen, bestehen auch

die Außenflächen der Geometrie aus planaren Flächen. Dieses Ergebnis wird als Netzgeometrie bezeichnet und kann nur mit der Facettenmodellierung, nicht aber mit der parametrischen oder direkten Modellierung geändert werden.

## GENERATIVE KONSTRUKTION IN DER KONZEPT-ENTWICKLUNG

Beim Konzeptentwurf entwickeln Konstrukteure eine Reihe von Ideen, die potenziell die jeweiligen Anforderungen an Form, Passform und Funktion erfüllen könnten. Zunächst suchen sie nach Konstruktionen, die den Anforderungen gerecht werden. Nachdem dieser erste realisierbare Entwurf ermittelt ist, gehen viele Ingenieure gleich zur nächsten Konstruktionsphase über, da sie die immer kürzer werdenden Fristen in den Entwicklungsplänen einhalten müssen. Das Problem bei diesem Ansatz besteht darin, dass so Gelegenheiten verpasst werden, andere Entwürfe zu ermitteln, die die Anforderungen noch besser erfüllen könnten. Um über den ersten realisierbaren Entwurf hinaus noch weitere zu ermitteln, bedarf es weiterer Untersuchungen, Experimente und Iterationen.

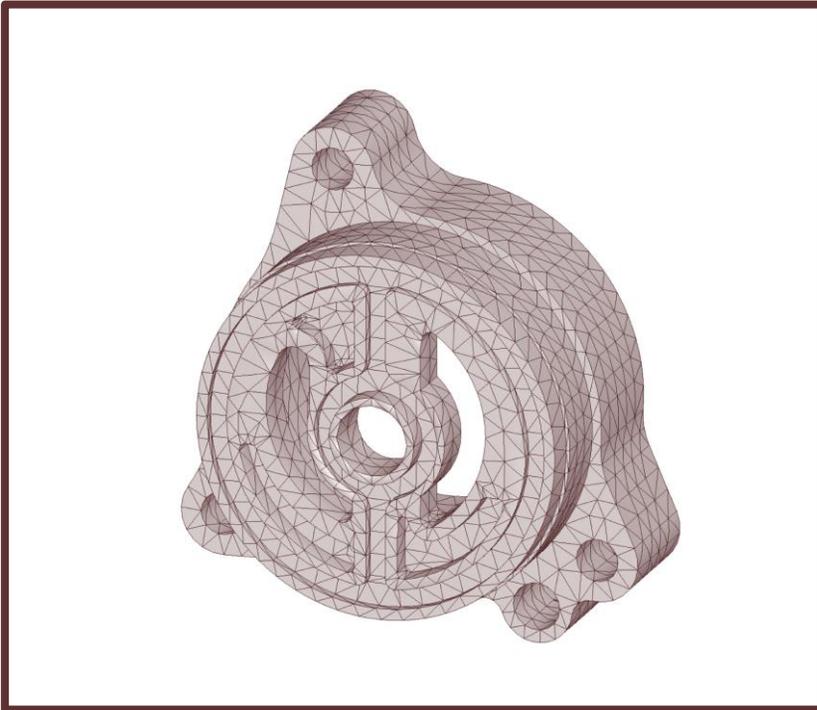
Die digitalen geometrischen Darstellungen dieser Entwürfe können sehr unterschiedlich sein. Einige verwenden Top-Down-Konstruktionstechniken (ausgehend von einem Anordnungsentwurf oder durch Konstruktion passender Teile für eine vorhandene Baugruppe), um Volumen und Räume für bestimmte Komponenten abzusperren. Andere arbeiten diese Ideen mit 2D- oder 3D-Skizzen aus, die aus Kurven, Linien, Flächen und anderen einfachen Geometrien entwickelt wurden. In diesem Stadium handelt es sich bei den Darstellungen jedoch in der Regel nicht um

vollständig detaillierte 3D-Modelle. Diese werden während der detaillierten Konstruktion erstellt.

Generative Konstruktion ist in hohem Maße auf die Konzeptentwicklung anwendbar. In diesem Stadium haben Ingenieure die größte Flexibilität, um alternative Ideen für Produkte zu erkunden. Sie können die wenigen Zwangsbedingungen, die in diesem Stadium definiert werden, festlegen und mit Hilfe der generativen Konstruktion mit überschaubarem Aufwand eine Vielzahl von Wahlmöglichkeiten schaffen. Stattdessen können Ingenieure zusätzlich noch viele Aufgaben eines Managers übernehmen und die mit der Software für generative Konstruktion erstellten Entwürfe überprüfen. Sie können sogar Vergleichsstudien durchführen und so die Leistung der Konstruktionsalternativen nebeneinanderhalten. Dies wiederum ermöglicht einen besseren Einblick in das Zusammenspiel zwischen Schlüsselvariablen und der gewünschten Leistung. Bemerkenswerterweise können diese Verfahren auf 2D-Skizzen, abstrakte 3D-Modelle oder auch auf vollständig detaillierte Konstruktionen angewendet werden.

Ein wichtiger Punkt ist, dass die durch generative Konstruktion erstellten Entwürfe mittels Netzgeometrie dargestellt werden. Einige Iterationen dieses groben Entwurfs sind sinnvoll, um seine Realisierbarkeit zu prüfen. In diesem Szenario ist die Verwendung der Facettenmodellierung zur direkten Bearbeitung der Netzgeometrie sehr nützlich, da sie es den Ingenieuren ermöglicht, den Aufwand für die Konvertierung in die Geometrie eines Begrenzungsflächenmodells (brep) der parametrischen und direkten Modellierung zu umgehen. Angesichts der Tatsache, dass der daraus resultierende Konzeptentwurf als Ausgangspunkt für die weitere Entwicklung dienen muss, ist es von entscheidender Bedeutung, dass diese facettierte Darstellung letztendlich aber in die Geometrie eines Begrenzungsflächenmodells (brep)

transformiert werden kann. Die Funktionalitäten der Facettenmodellierung sind auch hier in hohem Maße anwendbar, da sie den Übergang erheblich erleichtern.



## GENERATIVE KONSTRUKTION IN DER PHASE DER DETAILLIERTEN KONSTRUKTION

An diesem Punkt der Entwicklung nehmen die Ingenieure einen geprüften Konstruktionsentwurf und beschreiben diesen detailliert und vollständig im Hinblick auf die Konstruktionsfreigabe, wobei sie überprüfen, ob er die Anforderungen an Form, Passform und Funktion entsprechend erfüllt. Dies erfordert, dass sie Optionen für verschiedene Aspekte der Konstruktion untersuchen, um die Leistung zu verbessern. Insbesondere gilt dies für Ingenieure, die konkurrierende Anforderungen wie Gewicht und strukturelle Tragfähigkeit, Kosten und Eigenfrequenzen in Einklang zu bringen suchen.

Die digitale geometrische Darstellung des Konstruktionsentwurfs in dieser Phase entspricht einem vollständig detaillierten 3D-Modell. Diese Modelle werden häufig mit Hilfe von parametrischen und direkten Modellierungsfunktionen erstellt, die eine abgerundete Geometrie ergeben.

Die Möglichkeiten, über den ersten realisierbaren Entwurf hinaus noch weitere, potenziell noch bessere, zu ermitteln, sind auf diese Weise absolut gegeben. Zusätzliche Tests mit verschiedenen detaillierten Geometrien und unterschiedlichen Konfigurationen der Größenparameter können die Produktleistung sowie die Kosten und die Fertigungstauglichkeit erheblich beeinflussen. Wie auch im Fall der Konzeptentwicklung zeigt sich, dass mehr Zeit für das Experimentieren mit diesen Variablen und die Verfolgbarkeit der erfüllten Anforderungen Einblicke in die jeweiligen Zusammenhänge bringt. Diese gewonnenen Einblicke ermöglichen es den Ingenieuren, detaillierte Konstruktionen so zu verfeinern, dass die Anforderungen noch besser erfüllt werden.

Innerhalb des Entwicklungsprozesses ist generative Konstruktion in hohem Maße auf die detaillierte Konstruktion anwendbar.

Ingenieure können die Technologie kreativ und ausgiebig nutzen, um alternative Ansätze für Konstruktionsdetails zu evaluieren. Tatsächlich werden durch generative Konstruktion Optionen erstellt, die ein Ingenieur vielleicht nie in Betracht gezogen hat. Dies kann zu sehr wertvollen Verfeinerungen eines Konstruktionsentwurfs führen und so dazu beitragen, konkurrierende Anforderungen in Einklang zu bringen.

Die Integration der Ergebnisse generativer Konstruktion mit den Modellen der detaillierten Konstruktion ist unabdingbar. Letztendlich müssen die Ingenieure diese detaillierten Konstruktionen für die Beschaffung oder Fertigung freigeben, um Komponenten zu kaufen oder zu produzieren. Hier können die Funktionen der Facettenmodellierung für einen problemlosen Übergang von der Netzgeometrie zur Geometrie eines Begrenzungsflächenmodells (brep) die Produktivität erheblich steigern.

Während häufig die Netzgeometrie in Begrenzungsflächenmodelle umgewandelt werden muss, ist dies möglicherweise aber nicht in allen Fällen erforderlich. Es ist auch möglich, dass die Ingenieure einige Änderungen an der Netzgeometrie vornehmen müssen, diese aber ansonsten so belassen möchten, wie sie erstellt wurde. Dies gilt insbesondere im Fall von Unternehmen, die Komponenten mit Hilfe der additiven Fertigung herstellen, welche ebenfalls auf der Netzgeometrie basiert. In diesen Fällen kann der Ingenieur direkt den 3D-Druck nutzen.



## LÖSUNG MIT ZWEI ANWENDUNGEN

Generative Konstruktion ist ein außerordentlich leistungsfähiges Werkzeug im Entwicklungsprozess – sowohl für die Konzeptentwicklung als auch für die detaillierte Konstruktion. Die herkömmlichen Technologien, nicht integrierte Softwareanwendungen, die zur Unterstützung der generativen Konstruktion verwendet werden, lassen sich jedoch nicht reibungslos in den digitalen Workflow integrieren.

### ZWEI GEOMETRIETYPEN, DREI MODELLIERUNGSTYPEN

Im Allgemeinen nimmt die herkömmliche Geometriemodellierung eine von zwei Formen an: Parametrisch oder direkt. Mit der parametrischen Modellierung lassen sich Formelemente für Formelemente Modelle erstellen, indem die Bemaßungen mit Parametern gesteuert werden. Die Direktmodellierung ermöglicht es, die vorhandene Geometrie durch Ziehen und Verschieben zu bearbeiten. Beide Modellierungsansätze arbeiten mit Begrenzungsflächenmodellen (Boundary Representations), in denen die Geometrie durch flache oder leicht gebogene Oberflächen dargestellt wird.

Die Netzgeometrie hingegen besteht aus einer Punktwolke, die die äußere Oberfläche einer Konstruktion darstellt. Einige CAD-Anwendungen wandeln diese in Volumenkörpergeometrie um, indem sie planare Dreiecke oder Trapeze erstellen und diese miteinander zu einem „wasserdichten“ Körper verbinden. Mit der Facettenmodellierung können Konstrukteure die Qualität des entstehenden Netzes optimieren und die Geometrie durch Hinzufügen und Entfernen von Material bearbeiten.

Wie bereits erwähnt, gibt es Fälle, in denen Konstrukteure sowohl eine gerundete Geometrie als auch eine Netzgeometrie entwickeln müssen. Bei der Konzeptentwicklung müssen die Ingenieure sowohl mit den Skizzen und bezeichneten Räumen als auch der Netzgeometrie der gescannten Komponenten arbeiten. In der Phase der detaillierten Konstruktion erstellen sie detaillierte 3D-Modelle unter Berücksichtigung der Netzgeometrie.

### LÖSUNG MIT ZWEI ANWENDUNGEN

Herkömmliche CAD-Anwendungen, die für die Erstellung von 3D-Modellen und anderen Objekten eingesetzt werden, verwenden oft eine Kombination aus parametrischer und direkter Modellierung, die beide als Begrenzungsflächenmodelle dargestellt werden. Zusammen kann diese leistungsstarke Kombination von Modellierungswerkzeugen schnell und einfach zur Entwicklung von Konstruktionskonzepten und detaillierten Konstruktionen sowie zur Herstellung physischer Komponenten verwendet werden. Leider bieten nur sehr wenige Anwendungen Facettenmodellierung in Verbindung mit herkömmlichen Funktionen.

Aufgrund der Tatsache, dass die meisten CAD-Anwendungen nicht mit Netzgeometrie arbeiten können, müssen sich Konstrukteure nach anderen Lösungen umsehen. Einige eigenständige Spezialanwendungen, in der Regel solche, die Laserscan-Hardware umfassen, bieten eine CAD-ähnliche Anwendung, die die Facettenmodellierung einschließt. Theoretisch können Konstrukteure herkömmliche CAD-Anwendungen und diese CAD-ähnlichen Spezialanwendungen gemeinsam verwenden. Dieses Szenario bringt jedoch zahlreiche Nachteile mit sich.

## FEHLEN EINER EINHEITLICHEN UMGEBUNG

Es gibt viele Anwendungsfälle während der Konzeptentwicklung und der detaillierten Konstruktion, in denen Ingenieure parametrische, direkte und Facettenmodellierung **austauschbar** kombinieren müssen. Der Anwender kann beispielsweise an Facettendaten arbeiten, dann eine parametrische Funktion erstellen, anschließend etwas mit der direkten Modellierung modifizieren, bevor er die Facettenmodellierung erneut verwendet. Wenn diese drei Funktionalitäten nicht in einer einheitlichen Softwareanwendung integriert sind, können Konstrukteure diese Art von Arbeitsablauf schlicht nicht umsetzen. Stattdessen müssen sie einen Weg finden, um die Konstruktionsdaten zwischen der traditionellen CAD-Anwendung und der CAD-ähnlichen Spezialanwendung zu verschieben.

## AUSTAUSCHEN VON KONSTRUKTIONSDATEN

Wenn Sie mit dem Austausch von Geometrie zwischen CAD-Anwendungen vertraut sind, wissen Sie, welche Probleme hier entstehen können. Das Verschieben eines Modells aus einer Softwareanwendung in eine andere führt häufig zu fehlenden oder nicht ausgerichteten Oberflächen, Linien oder Punkten. Ein solcher Vorgang „beschädigt“ das Modell, weil es nun nicht mehr die Konstruktion abbildet. Aus diesem Grund müssen Konstrukteure jedes Mal erneut Aufwand betreiben, um diese Herausforderung zu meistern, wenn die Geometrie zwischen verschiedenen Softwaretypen verschoben wird.

Bei der Verschiebung von Geometrie zwischen herkömmlichen CAD-Anwendungen und CAD-ähnlichen Spezialanwendungen ist das nicht anders. Es treten die gleichen Probleme auf. Das Ergebnis: Konstrukteure verlieren Zeit und das Entwicklungsprojekt stagniert.

## ZENTRALE PUNKTE

Es ist für Ingenieure möglich, traditionelle CAD-Anwendungen zusammen mit speziellen CAD-ähnlichen Anwendungen zu verwenden, um generative Konstruktion zu ermöglichen, jedoch nicht ohne erhebliche Reibungsverluste im digitalen Workflow. Diese Herangehensweise erlaubt es Ingenieuren nicht, parametrische, direkte und Facettenmodellierung austauschbar zu verwenden, was ihre Gestaltungsfreiheit einschränkt. Auch bedeutet diese Vorgehensweise einen erheblichen Zeitaufwand für die Korrektur von Konstruktionsdaten, die zwischen diesen beiden Softwareanwendungen ausgetauscht werden. Während generative Konstruktion bei der Entwicklung erhebliche Vorteile bietet, kann seine Anwendbarkeit durch die zeitraubende und mühsame Arbeit bei der Verwendung mit zwei verschiedenen Softwareanwendungen beeinträchtigt werden.

## LÖSUNG MIT EINER EINHEITLICHEN ANWENDUNG

Im vergangenen Jahr wurden die Funktionalitäten einiger CAD-Anwendungen erweitert und umfassen nun auch parametrische, direkte und Facettenmodellierung. Die Auswirkungen auf die generative Konstruktion sind von zentraler Bedeutung.

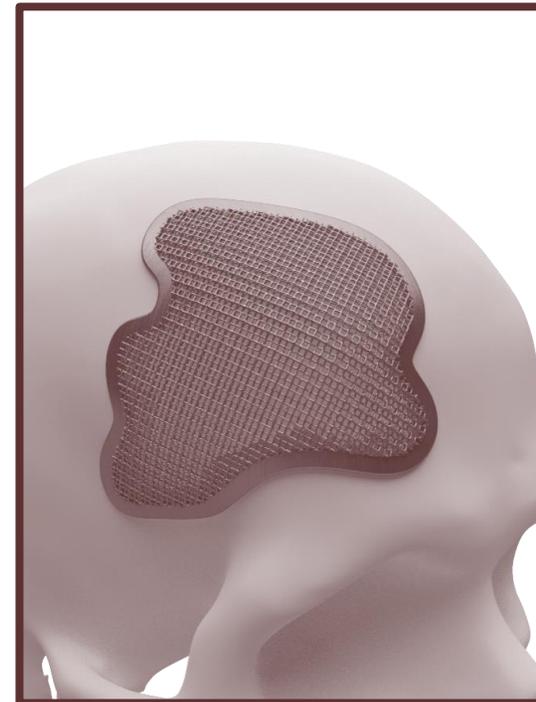
Wenn Konstrukteure aus den Ergebnissen der generativen Konstruktion ein Begrenzungsflächenmodell erstellen müssen, wird der Arbeitsablauf wesentlich einfacher. Sämtliche Modellierungsfunktionen befinden sich in einer einzigen Umgebung, was bedeutet, dass Konstrukteure zu jedem Zeitpunkt Zugang zum richtigen Werkzeug für die jeweilige Situation haben.

In einem weiteren interessanten Fall müssen Ingenieure nicht notwendigerweise Konstruktionsentwürfe, die durch generative Konstruktion erstellt wurden, in die Geometrie eines Begrenzungsflächenmodells transformieren. Die Facettenmodellierung bietet die benötigten Werkzeuge, um die Konstruktion ohne diese zeitintensiven zusätzlichen Schritte zu ändern. Dies gilt insbesondere für Komponenten, die mit Hilfe des 3D-Drucks hergestellt werden sollen, der seinerseits bereits auf der Netzgeometrie basiert.

Ein wichtiger Punkt in all diesen Szenarien sind die Aktivitäten, die diese neue Art von CAD-Anwendungen den Konstrukteuren erspart, nämlich das *Austauschen von Konstruktionsdaten*. Da all diese Funktionen in einer einzigen Umgebung vorhanden sind, besteht keine Notwendigkeit, 3D-Daten, Netzgeometrie oder Begrenzungsflächenmodelle zwischen verschiedenen Softwareanwendungen zu verschieben. Sämtliche Arbeitsschritte können in einer einzigen Umgebung durchgeführt werden. Konstrukteure müssen keine Zeit für die Fehlerbehebung der Geometrie

aufwenden. Stattdessen können sie sich auf die Konstruktionen konzentrieren.

Generell ist die Integration der Facettenmodellierung zusammen mit der parametrischen und direkten Modellierung eine wesentliche Erleichterung für Ingenieure, die generative Konstruktion in ihren Entwicklungsprozessen nutzen wollen. Sie beseitigt einen Großteil der Reibungspunkte im digitalen Arbeitsablauf und ermöglicht es den Ingenieuren, sich stattdessen ganzheitlich auf die Konstruktionen zu fokussieren.



## ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Entwicklungsingenieure von heute stehen unter enormem Druck. Konstruktionsarbeiten sind grundsätzlich volatil, da Fehler zu beeinträchtigenden Verzögerungen bei laufenden Projekten führen können. Zunehmend komplexe Technologie wird in Produkte integriert. Konstrukteure müssen mit mehr Projektbeteiligten als je zuvor zusammenarbeiten. Die Zeitpläne sind immer knapper bemessen. Angesichts einer Vielzahl von Verantwortlichkeiten übernehmen Ingenieure aus Zeitgründen häufig gleich die erste realisierbare Konstruktionsoption, statt weiter nach noch besseren zu suchen.

### GENERATIVE KONSTRUKTION IN DER ENTWICKLUNG

Bei generativer Konstruktion handelt es sich um eine Funktion von CAD-Anwendungen, die autonom eine Reihe von Konstruktionsalternativen unter Berücksichtigung einer bestimmten Anzahl von Zwangsbedingungen erzeugt. Nach der Fertigstellung können Ingenieure wählen, welche Konstruktionsentwürfe sie genauer überprüfen möchten. Dies beschleunigt die Konstruktion, ohne dass der Ingenieur viel Aufwand betreiben muss. Beachten Sie, dass die durch generative Konstruktion erzeugten Entwürfe mittels Netzgeometrie dargestellt werden, die nur durch Facettenmodellierungsfunktionen geändert werden kann. Dies ist besonders wichtig im Hinblick darauf, dass der resultierende Konstruktionsentwurf während des gesamten restlichen Entwicklungsprozesses genutzt werden soll.

Generative Konstruktion kann in der Konzeptentwicklung zu leistungsstarken Ergebnissen verhelfen. Ingenieure können generative Konstruktion nutzen, um eine breite Palette an Konstruktionsalternativen zu einem frühen Zeitpunkt im

Entwicklungsprozess zu untersuchen, wenn die Anforderungen noch am ehesten anpassbar sind. Beim detaillierten Entwurf kann die generative Konstruktion zur Feinabstimmung eines Konstruktionsentwurfs genutzt werden, um konkurrierende Anforderungen wie Gewicht und strukturelle Tragfähigkeit, Kosten und Eigenfrequenzen in Einklang zu bringen.

### TECHNOLOGIELÖSUNGEN

Herkömmliche CAD-Anwendungen, die für die Erstellung von 3D-Modellen und anderen Objekten eingesetzt werden, verwenden oft eine Kombination aus parametrischer und direkter Modellierung, jedoch fehlt hier die Facettenmodellierung. Aufgrund der Tatsache, dass die meisten CAD-Anwendungen nicht mit Netzgeometrie arbeiten können, müssen Konstrukteure eigenständige Spezialanwendungen mit Facettenmodellierung nutzen. Konstrukteure dürfen diese beiden Anwendungen zusammen verwenden, können diese Funktionen jedoch nicht austauschbar nutzen und müssen sich mit der Herausforderung der Datenkonvertierung auseinandersetzen.

Die Funktionalitäten einiger CAD-Anwendungen wurden erweitert, um die parametrische, die direkte und die Facettenmodellierung in einer einzigen Umgebung zu ermöglichen. Diese Lösungen erlauben es den Konstrukteuren, die mit dem Ansatz mit zwei Anwendungen verbundenen Probleme zu vermeiden.

## FAZIT

---

Konstrukteure von heute können von generativer Konstruktion in vielerlei Hinsicht profitieren. Allerdings kann dieses Optimierungspotenzial durch die Probleme des Arbeitens mit zwei Anwendungen für die Modellierung eingeschränkt werden. CAD-Anwendungen, die parametrische, direkte und Facettenmodellierung bieten, ermöglichen es Konstrukteuren jedoch, das volle Potenzial generativer Konstruktion auszuschöpfen.

© 2017 LC-Insights LLC



**Chad Jackson** arbeitet als Analyst, Rechercheur und Blogger bei [Lifecycle Insights](#) und bietet Einblicke in Entwicklungs- und Konstruktionstechnologien wie CAD, CAE, PDM und PLM. [chad.jackson@lifecycleinsights.com](mailto:chad.jackson@lifecycleinsights.com).