

# Simulationsgestützter Entwurf: Lösen des Geometrieproblems

## Abstrakt

Im Laufe der Jahre hat sich die Geometrie von CAD-Systemen weiterentwickelt: von Drahtmodellen über Flächen zu Solids und von parametrischen zu direkten Modellen. Bei der Simulation wird jedoch immer noch das alte Paradigma der Balken-, Schalen- oder vereinfachten Volumenkörper verwendet, das vor mehr als 50 Jahren erfunden wurde. Mit der zunehmenden Vollständigkeit der CAD-Geometrie ist auch das Bemühen gewachsen, diese in eine einfachere, für die Vernetzung und Analyse geeignete Form umzuwandeln. Traditionelle Anbieter von Finite-Elemente-Analysen (FEA) haben sich auf diese Aufgabe konzentriert, aber das hat nur die Lernkurve erhöht. Unterm Strich erfordern diese "CAD to Mesh"-Schritte viele Ermessensentscheidungen, sind arbeitsintensiv und fehleranfällig und erfordern Experten sowohl für Simulation als auch für CAD. Das Ergebnis ist, dass eine breit angelegte Simulation heutzutage auf große Unternehmen mit komplexen und teuren Arbeitsabläufen beschränkt ist und selbst dann ist sie nur selten gut in den konzeptionellen Produktdesignprozess integriert. Unser Ziel mit SimSolid ist es, das zu ändern. Wir leisten Pionierarbeit mit neuen Methoden, die direkt auf vollwertigen CAD-Baugruppen arbeiten und kein Netz erzeugen. Damit können Sie Schritt für Schritt mit Ihrem Designprozess arbeiten, um schnell und effizient die ursprüngliche CAD Geometrie zu analysieren, ohne sie zu verändern oder zu vereinfachen. Das Ergebnis ist, dass SimSolid in der Lage ist, große Baugruppen und komplexe Teile zu analysieren, die mit herkömmlicher FEM nicht als praktikabel angesehen werden würden. In diesem Whitepaper erklären wir, was SimSolid ist und wie es funktioniert und zeigen Beispiele, wo es eingesetzt werden kann. Außerdem werden die technologischen Grundlagen von SimSolid erörtert und mit den Methoden der traditionellen FEM verglichen.

## Das Geometrieproblem

Das Geometrieproblem besteht einfach ausgedrückt darin, dass die Geometrie von CAD und traditioneller FEM unterschiedlich ist. CAD erstellt die Geometrie, um die Konstruktions- und Fertigungsanforderungen zu definieren. Die FEM muss diese in eine vereinfachte Form umwandeln, um das Netz zu definieren. Diese Diskrepanz zwischen CAD- und FEM-Geometriemodellen verkompliziert das Paradigma des Analyseanwenders in vielen Bereichen unnötig - in einigen offensichtlich, in anderen subtil. Die offensichtliche Komplikation ist die Notwendigkeit, die Geometrie drastisch zu vereinfachen, damit ein Netz zuverlässig erstellt werden kann. Es müssen viele Entscheidungen darüber getroffen werden, welche Teile und Teilemerkmale entfernt werden können, ohne die geometrische Designabsicht zu verändern. Dies ist ein Prozess, der viel Fachwissen erfordert. Verschiedene Personen werden wahrscheinlich unterschiedliche Ergebnisse erzielen. Zu den weniger offensichtlichen Komplikationen gehören die kleinen Änderungen an der Geometrie, die oft erforderlich sind, um den traditionellen FEA-Netzgenerator dazu zu bringen, adäquat geformte Elemente zu erzeugen, oder die speziellen Elemente und speziellen Netzübergänge, die erforderlich sind, um Verbindungen zwischen Teilen zu erzeugen - Schrauben, Schweißnähte usw. Die subtilste Komplikation sind die Toleranzeinstellungen, die möglicherweise in den Lösungsmethoden vorgenommen werden müssen, um numerische Instabilitäten zu berücksichtigen, die durch schlecht geformte Netze verursacht werden, insbesondere bei nichtlinearen Analysen. Das Geometrieproblem ist das Haupthindernis für eine breitere Anwendung der Simulation in Konstruktionsabläufen. Inkrementelle Verbesserungen der Benutzeroberfläche bei Geometrie und Vernetzung sind nicht die Lösung. Es ist eine grundlegende Prozessänderung erforderlich.

## Die Altair SimSolid Lösung

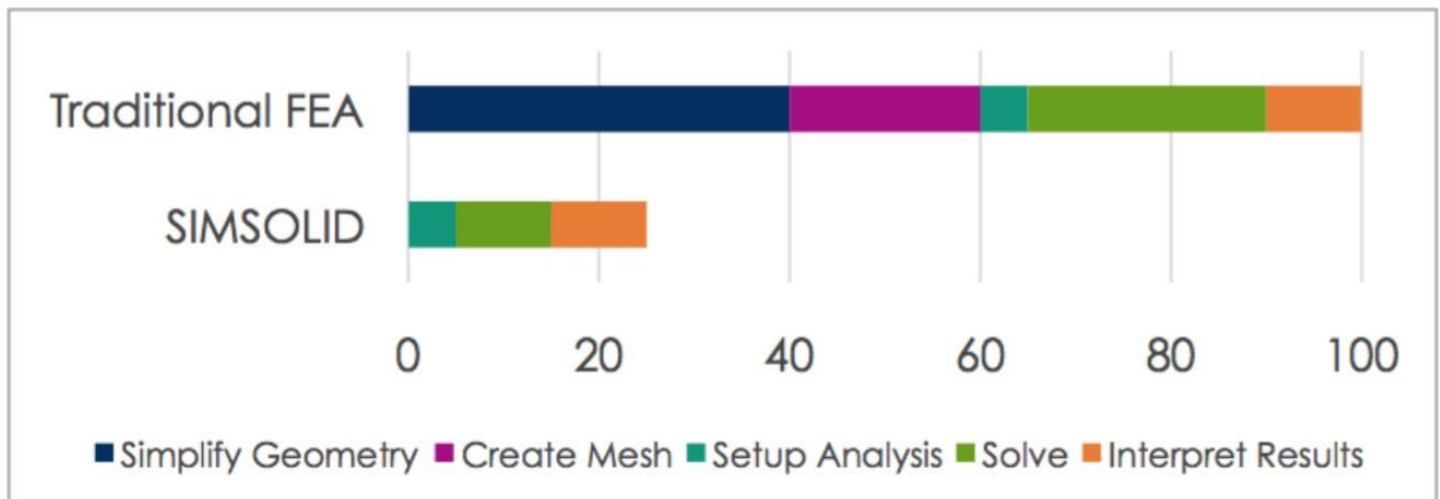
SimSolid verfolgt einen anderen Ansatz. Es löst das Geometrieproblem, indem es die zugrunde liegende Kerntechnologie der FEM-Lösung komplett ersetzt. Hier sind einige wichtige Eigenschaften der SimSolid-Lösung:

- Die SimSolid-Methodik analysiert direkt die voll funktionsfähige CAD-Baugruppe. Zeitaufwändige Modellvereinfachungstechniken, wie z. B. Defeaturing und Mittelflächenbildung, sind nicht erforderlich.
- Die in SimSolid verwendeten Lösungsmethoden sind netzfrei. Es besteht nie die Anforderung an den Benutzer, ein Netz zu erstellen.
- Die SimSolid-Methodik ist schnell und effizient. Sie bietet überragende Leistungskennzahlen für Rechenzeit und Speicherbedarf, die es ermöglichen, sehr große und/oder komplexe Baugruppen schnell auf PCs der Desktop-Klasse zu lösen.
- Die SimSolid-Methode ist genau. SimSolid steuert die Lösungsgenauigkeit durch eine mehrstufige adaptive Analyse. Die Adaptivität kann auf globaler oder teil-lokaler Basis definiert werden. Und sie ist immer aktiv.

All dies ist in einer leichtgewichtigen (33 MB) Windows-Anwendung verpackt, die sowohl eine direkte Verbindung zu Onshape-Cloud-Dokumenten, Siemens Teamcenter als auch eine komfortable STL-Schnittstelle für die Struktursimulation von 3D-gedruckten Teilen bietet. Native CAD-Daten aus den gängigsten CAD-Systemen können direkt eingelesen werden.

## Die Vorteile

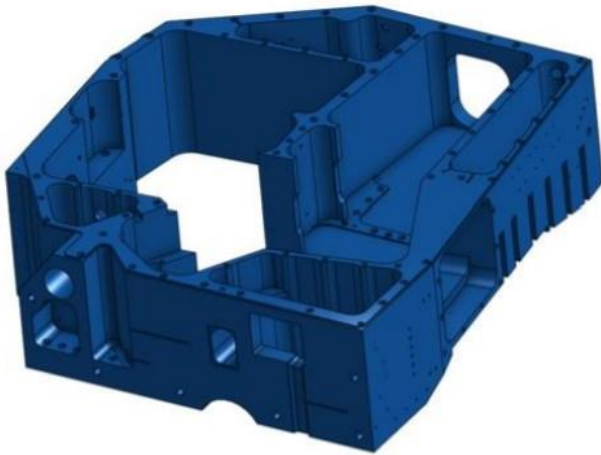
Mit SimSolid entfallen die beiden zeit- und fachintensivsten Aufgaben der Geometrievereinfachung und der Vernetzung. Diese beiden Schritte nehmen typischerweise zwischen 30 und 70 % der gesamten Modellierungs- und Analysezeit in Anspruch, so dass dies eine erhebliche Prozessverbesserung darstellt. Noch wichtiger ist, dass diese Aufgaben den Großteil des Schulungsbedarfs für die traditionelle FEA darstellen. Es ist nicht nur weniger Zeit erforderlich, sondern auch weniger Schulung bedeutet, dass ein größerer Pool von Anwendern die Vorteile der Konstruktionssimulation nutzen kann.



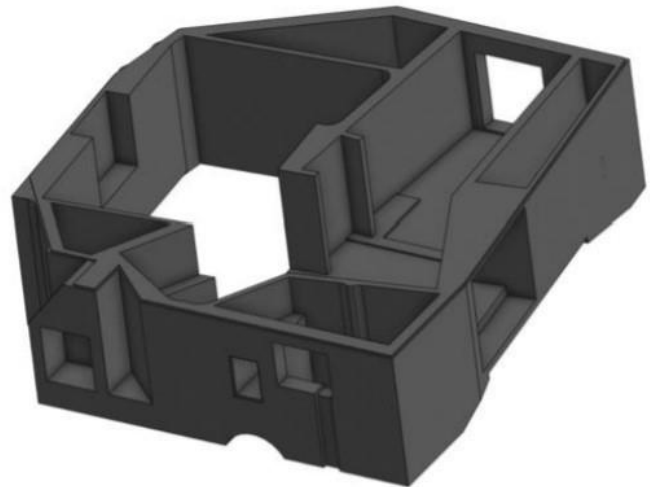
Der zweite Vorteil ist die Erweiterung der Möglichkeiten, was praktisch zu lösen ist. Anstatt die Baugruppe auf ein Teil oder einen kleinen Kontext von ein paar Teilen zu reduzieren, kann eine vollständige Baugruppe gelöst werden, was den Aufbau des Modells und die Spezifikation von Lasten und Randbedingungen vereinfacht. Viele Modelle, die mit der traditionellen FEM nicht berechenbar sind, können mit SimSolid gelöst werden.

Hier sind einige Beispiele für die Vorteile der Verwendung von SimSolid: Wegfall der Vereinfachung der Teilegeometrie. Bei der traditionellen FEM muss das Full-Fidelity-Modell zunächst vereinfacht werden, indem kleine Merkmale untersucht und dann entfernt werden. Hier ist ein Beispiel für die ursprüngliche CAD-Geometrie und eine mögliche Vereinfachung, die in der traditionellen FEA verwendet wird. Beachten Sie, dass verschiedene Analytiker die Geometrie wahrscheinlich auf unterschiedliche Weise vereinfachen werden, was die Überprüfung des Analysemodells weiter erschwert.

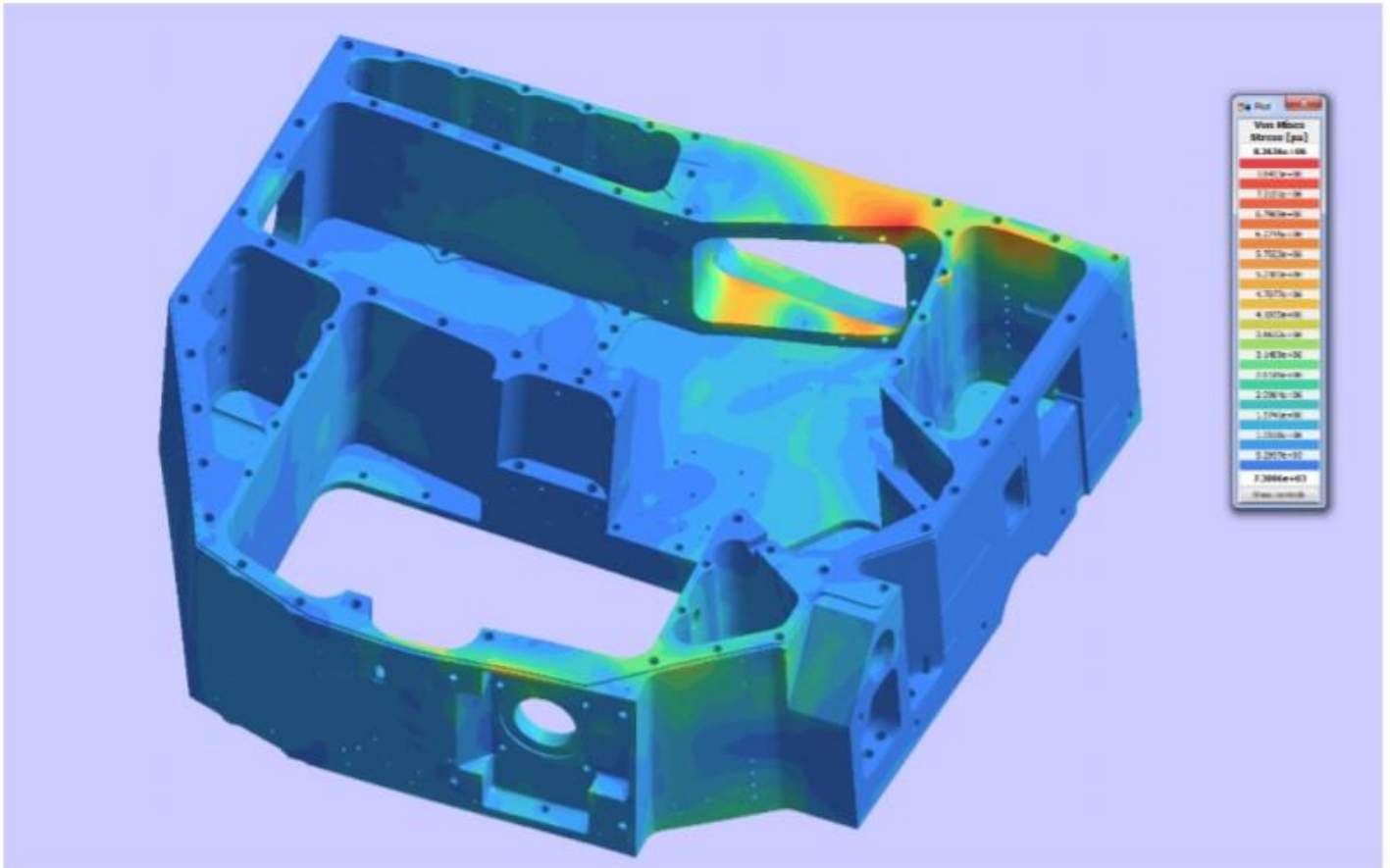
Original CAD Model



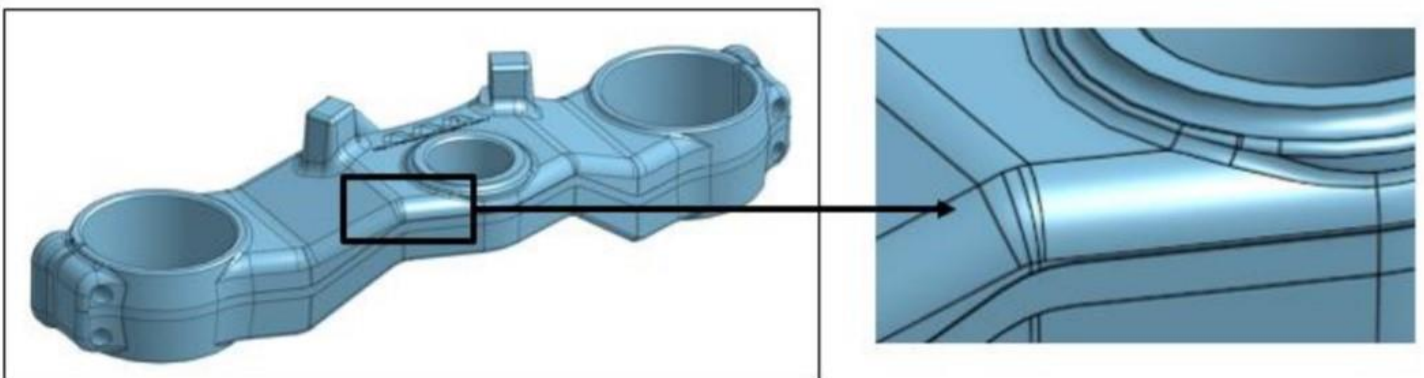
FEA Simplified Geometry



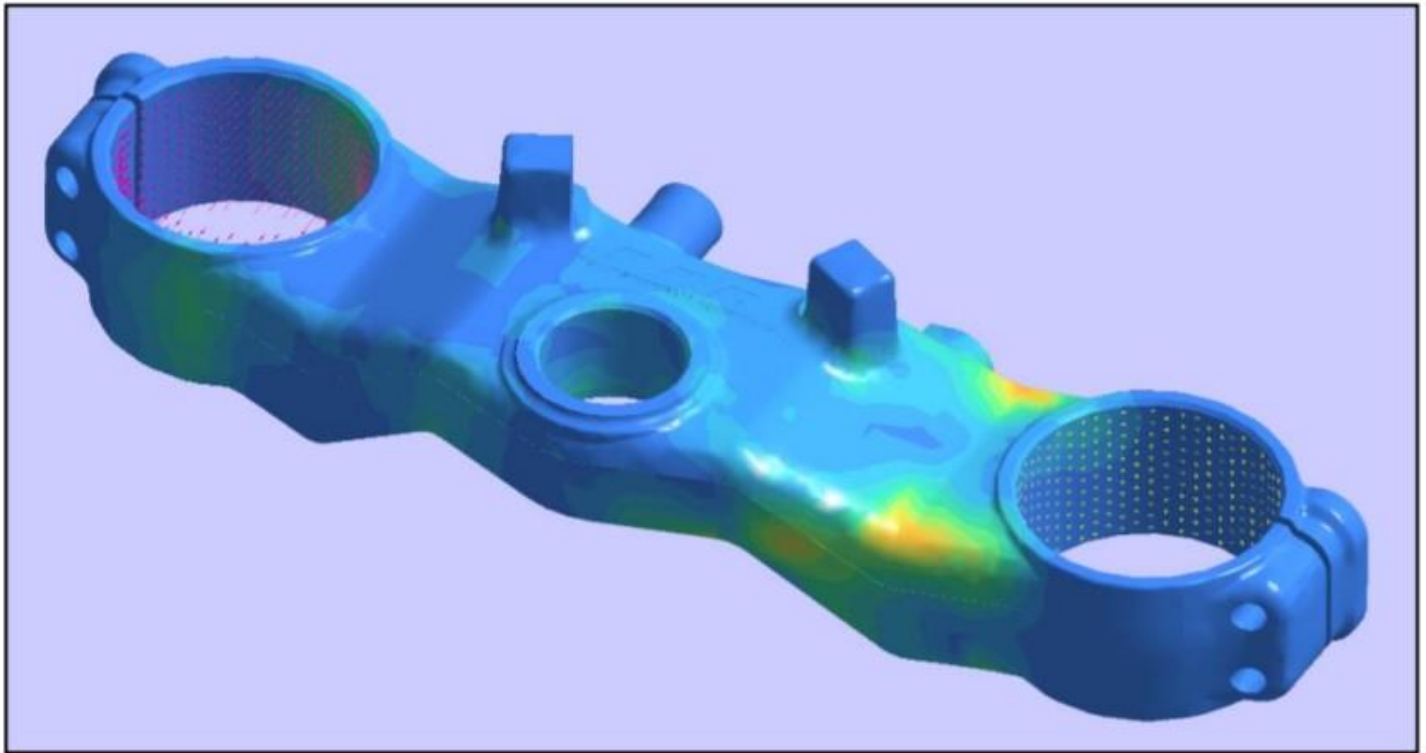
Mit SimSolid werden alle Features im Modell belassen und die Geometrie mit voller Wiedergabetreue in der Analyse verwendet. Diese Geometrie ist ein komplexes Einzelteil mit mehr als 1.200 Flächen und mehr als 150 kleinen Löchern. Die Lösungszeit einschließlich der Einrichtung des Modells beträgt weniger als vier Minuten, und die Neuanalyse ist schnell – und dauert weniger als eine Minute.



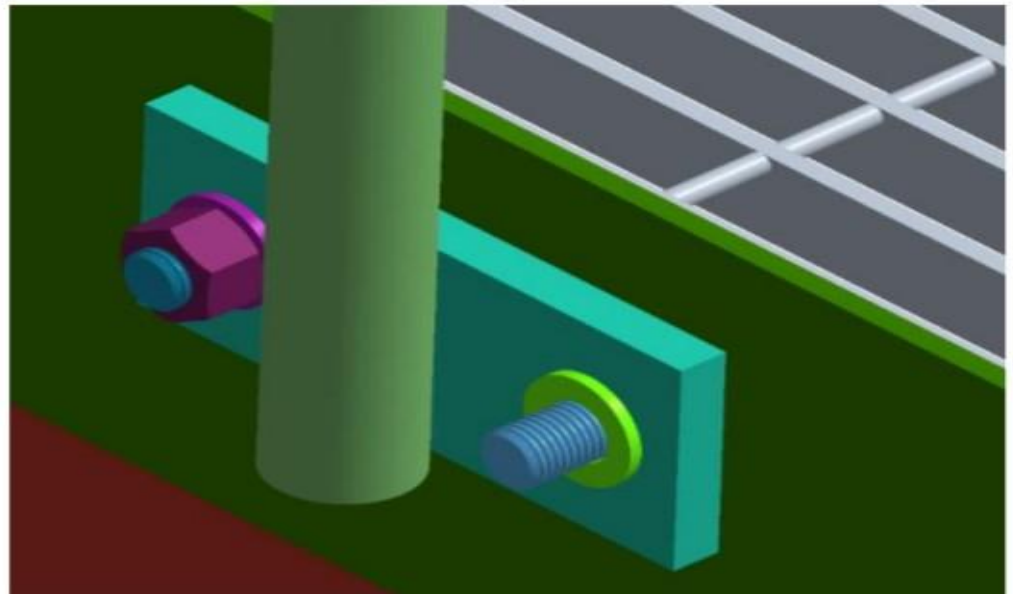
Eliminierung der Bereinigung von Teilgeometrien. Typische CAD-Geometrien haben oft kleine oder dünne Flächen und ungerade Flächenüberschneidungen. SimSolid ist tolerant gegenüber solchen Geometrien. Hier ist ein Modell mit vielen kleinen Flächen und sogar einem Aufdruck von Buchstaben auf der Oberfläche. Bei der traditionellen FEA müssten viele Flächen bearbeitet, zusammengeführt oder ganz entfernt werden.



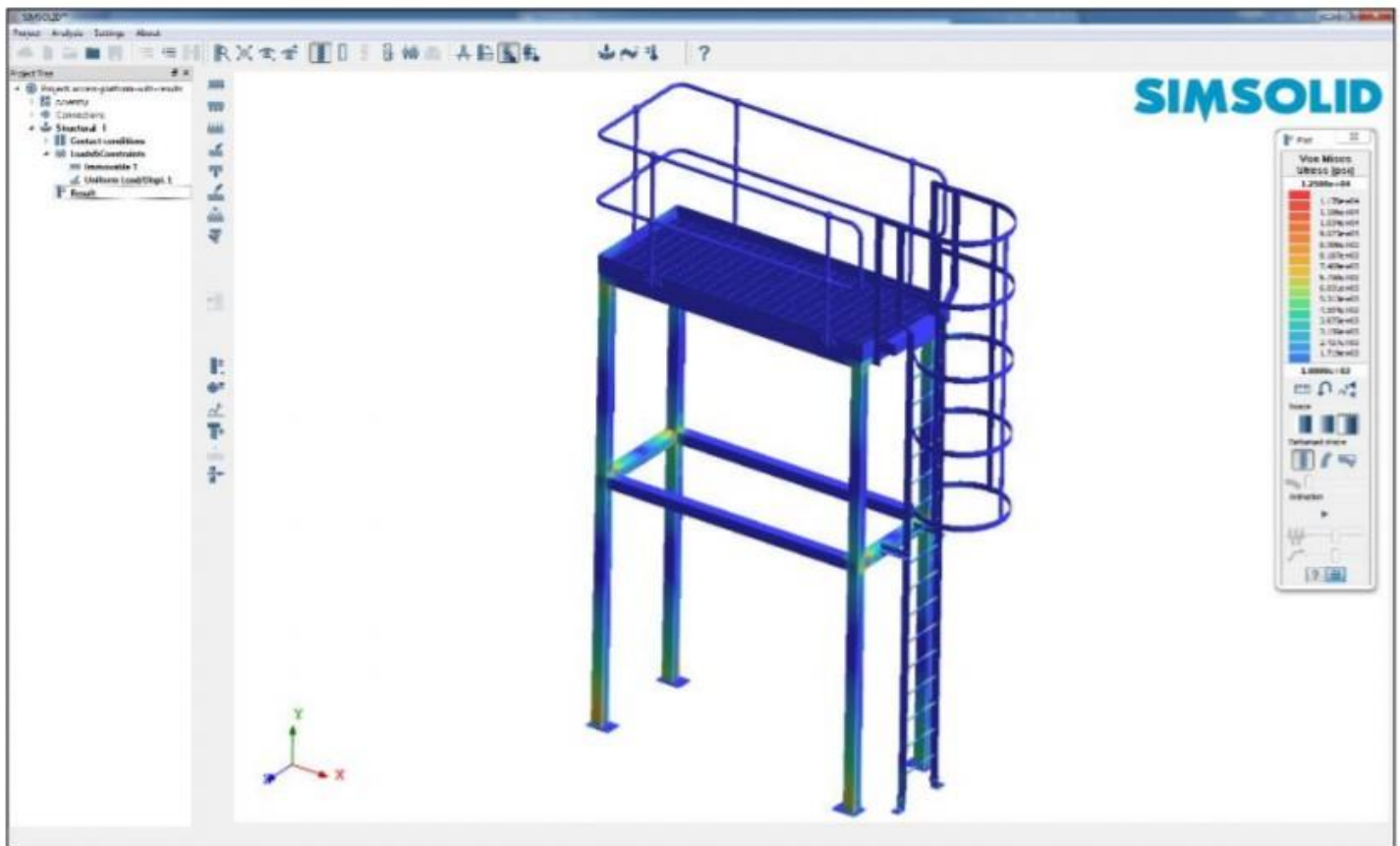
Mit SimSolid kann diese Geometrie direkt, ohne jegliche Modifikation durch den Anwender, analysiert werden.



Direkte Simulation von großen Baugruppen. Große Baugruppen mit Teilen unterschiedlicher Größe und Form können direkt in SimSolid eingeladen und analysiert werden. Hier ist eine Arbeitsbühne, die aus 153 Einzelteilen besteht. Einige Teile sind massiv (Leitersprossen), dünn und hohl (Rohrrahmen), komplex (Bodengitter) oder klein (Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben). Alle geometrischen Details, einschließlich der Gewinde in den Muttern und Bolzen, sind erhalten.



Das Modell wurde ohne Modifikation direkt aus dem CAD importiert, und alle Verbindungen wurden automatisch ermittelt. Es war keine Vernetzung erforderlich. Die Basis wurde fixiert und eine einfache Seitenlast aufgebracht. Die Gesamtlösungszeit (Import, Einrichtung und Lösung) betrug weniger als neun Minuten auf einem Desktop-PC. Eine Lösung dieser Art wäre mit herkömmlicher FEM nicht praktikabel.

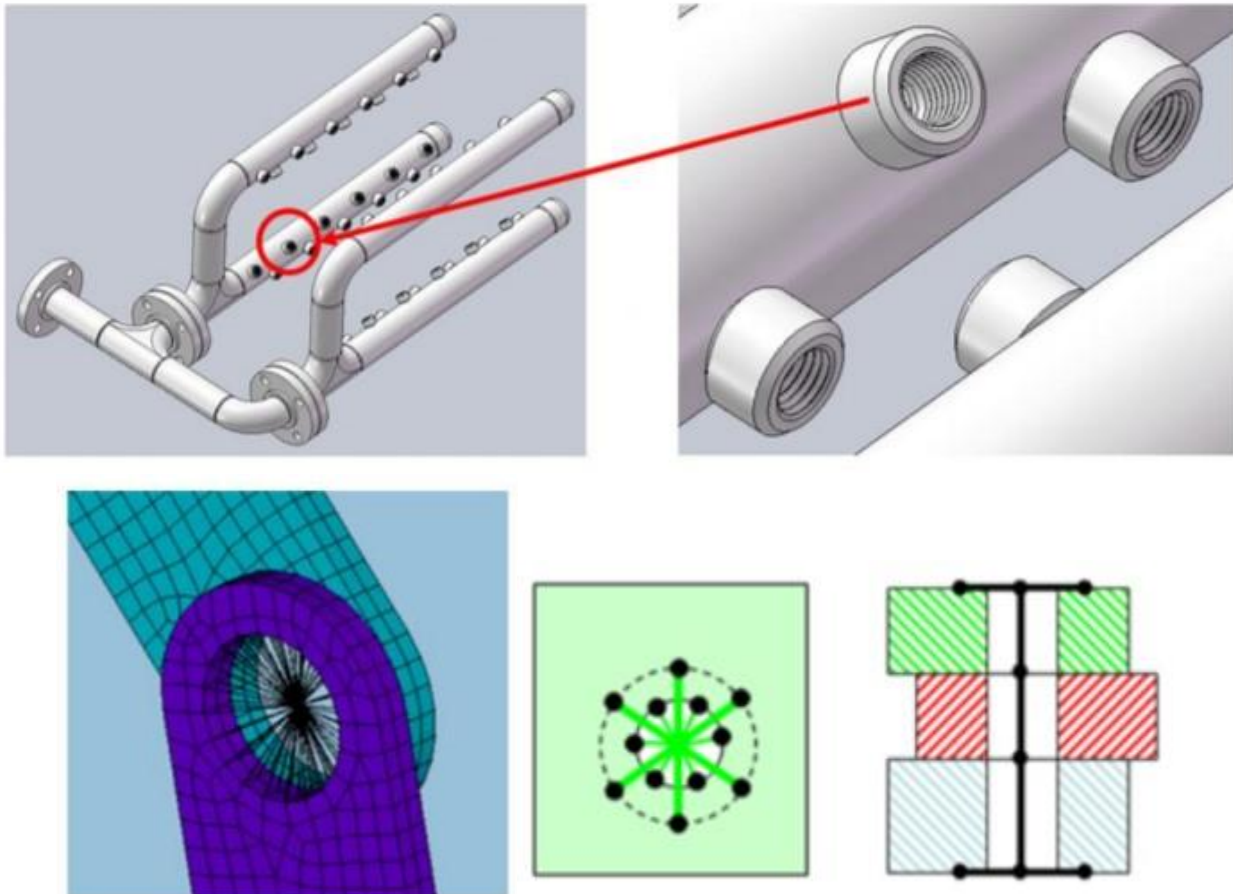


## SimSolid Technologie

Die SimSolid-Technologie approximiert den Lösungsbereich mit Hilfe komplizierter polynomialer und nicht-polynomialer Funktionen. Sie ist eine Alternative zur konventionellen FEM, bei der die Approximationen aus primitiven Interpolationspolynomen aufgebaut sind, die auf finite Elemente mit generischen Formen wie Hex-, Tetraeder- oder Keilformen beschränkt sind. Die Klassen der anwendbaren Funktionen werden erheblich erweitert, um lösungsspezifische Funktionen unterzubringen, die bestimmte Lösungsmerkmale approximieren und erfüllen, wie z. B. Inkompressibilitätsbedingungen, Gleichgewichtsgleichungen und asymptotische Analysen um spezielle geometrische Merkmale lösen zu können. Die Unterbringung intelligenter Basisfunktionen wurde durch bahnbrechende Erweiterungen der mathematischen Theorie der externen Approximationen ermöglicht, die die Basisfunktionen von den zugrunde liegenden geometrischen Formen ist dabei entkoppelt. Die endgültigen Funktionen werden während der Lösungssequenz "on the fly" aus generischen Mengen gebildet. Generische Mengen sind immer vollständig, und ihre Approximationseigenschaften bleiben bei allen Transformationen erhalten. Diese Eigenschaft der Basisfunktionen ermöglicht die Entwicklung von Adaptivitätsstrategien, die die generischen Mengen in lokalen Regionen nach Bedarf verfeinern können, um die Lösungsgenauigkeit zu erhöhen. Eine Erweiterung der grundlegenden Konzepte der numerischen Methoden besteht in SimSolid in der Neudefinition der Grundbegriffe der Freiheitsgrade (DOF). SimSolid verwendet nicht die punktförmigen DOF, die in der traditionellen FEM verwendet werden. Die SimSolid DOF sind Funktionale mit geometrischer Unterstützung in Form von Volumen, Flächen, Linienwolken und Punktwolken. Dies ermöglicht die Behandlung von geometrischen Imperfektionen sowie von Kontaktimperfektionen der Baugruppe, wie Lücken, Durchdringungen und ausgefranste Kontaktbereiche.

## Quellen für Modellierungsfehler in der traditionellen FEA

Die Implementierung der Strukturanalyse in den Konstruktionsprozess bedeutet, dass die Analyseergebnisse verwendet werden, um Konstruktionsentscheidungen zu treffen. Daher ist es wichtig, dass Analysewerkzeuge Ergebnisse mit vorhersagbarer Genauigkeit liefern. Die Validierung von Analyseergebnissen ist ein komplexes Problem, da alle numerischen Methoden approximativ sind und es viele Fehlerquellen geben kann, darunter die wichtigsten: Modellierungsfehler und Approximationsfehler. Modellierungsfehler treten auf, wenn das CAD-Geometriemodell modifiziert wird, um es für die traditionelle FEM-Vernetzung geeignet zu machen. Die Modifikation kann viele Schritte umfassen, wie z.B. die Vereinfachung der Baugruppe, das Entfernen von Konstruktionselementen des Teils, die Idealisierung der Oberfläche und die Bereinigung der Geometrieflächen. Eine erfolgreiche Vernetzung ist eine Voraussetzung, um überhaupt Ergebnisse in der FEM zu erhalten. Selbst wenn nur globale Verschiebungen von Interesse sind, muss die Geometrie bis ins kleinste Detail vernetzt werden. Außerdem muss die Vernetzung den richtigen Elementtyp verwenden, die richtige Elementform aufweisen (keine Degeneration oder schlechtes Seitenverhältnis) und genügend Elemente haben, um den erwarteten Spannungsverlauf zu modellieren. Diese Qualitätsanforderungen sind bei komplexen Teilen nur schwer zu erfüllen. Eine adaptive Neuvernetzung zur Erfüllung der numerischen Konvergenz ist zwar möglich, aber in vielen Situationen nicht praktikabel und wird in der Konstruktionsanalyse üblicherweise nicht durchgeführt. Bei Baugruppen wird die Situation noch schlimmer, da die Netze in den Kontaktbereichen der Teile entweder kompatibel oder gut genug sein müssen, um aussagekräftige Ergebnisse zu liefern. Letzteres ist im Falle von Multiskalen-Baugruppen praktisch unmöglich, wenn große Teile durch kleine Teile, wie Schrauben, Muttern, Nieten und Stifte, verbunden sind.



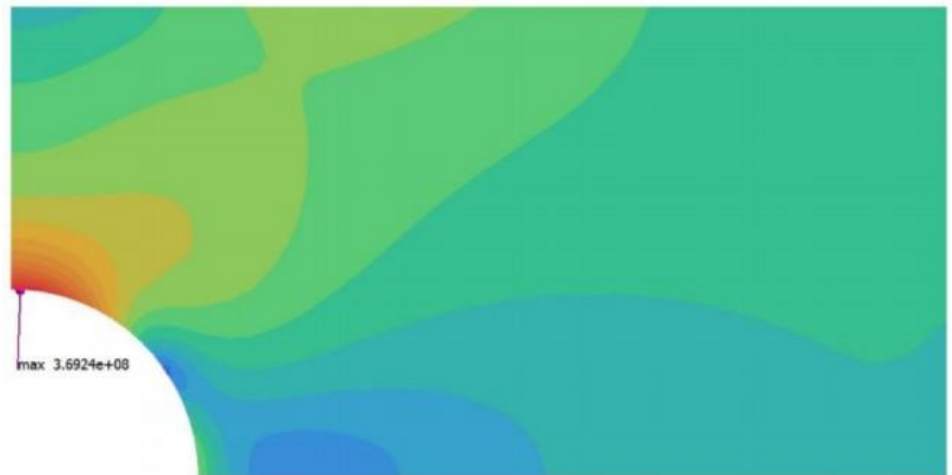
Die Idealisierung von Baugruppen ist auch von der Lösungsmethode abhängig. Hier ein Beispiel für Kleinteile, die in der statischen Analyse einfach entfernt werden können, aber in der dynamischen Analyse durch Massenpunkte oder Kunstkörper mit sechs Trägheitsmomenten ersetzt werden müssen, um die Massenverteilung in der Struktur nicht zu verändern. Eine weitere Fehlerquelle in der traditionellen FEM ist die spezielle Elementbetrachtung für Verbindungen. Schrauben und Schweißnähte sind insofern problematisch, als dass sowohl spezielle Elemente als auch spezielle Netzmuster erforderlich sind, um sie adäquat zu modellieren. Links sind Beispiele für Verbindungsidealisationen eines Bolzens, der durch Balken und Zahnkränze ersetzt wurde.

Der letzte Stolperstein ist die Erlangung der Lösung. Selbst wenn das Modell erfolgreich vernetzt wurde, ist das Finden der Lösung immer noch nicht sicher. Nach der Vernetzung komplexer Geometrien stellt sich oft heraus, dass das Modell zu groß ist, um es in einer angemessenen Zeit zu lösen, oder es enthält schlecht geformte Elemente, die Instabilitäten in der Numerik traditioneller FEM-Lösungsmethoden verursachen. Die Verwendung des traditionellen FEM-Workflows zur Verwaltung dieser potenziellen Fehlerquellen ist komplex. Schulungen - und Nachschulungen - können teuer und zeitaufwändig sein. Gelegentliche (seltene) Verwendung der Simulation ist besonders problematisch. Fehler, die durch die falsche Anwendung eines Benutzeroberflächen-Workflows entstehen, sind viel zu häufig.

## Quellen für Modellierungsfehler in der traditionellen FEA

SimSolid ist neu, aber es wurde sowohl von Altair als auch von externen Unternehmen in verschiedenen Branchen ausgiebig getestet. Wir haben ein Validierungshandbuch erstellt, das unter [www.simsolid.de](http://www.simsolid.de) verfügbar ist und Tests enthält, die als Teil unseres Standard-Qualitätssicherungsprozesses durchgeführt wurden. Ein Beispiel aus dem Validierungshandbuch - eine Platte mit einer Bohrung unter Dehnungslast - ist hier enthalten.

Reference <b>372.7 MPa</b>
SIMSOLID <b>369.2 MPa</b>
Difference <b>0.9%</b>



## Fazit

Damit die Simulation den Konstruktionsprozess wirklich vorantreiben kann, muss sie im Gleichschritt mit jedem geometrischen Konzept und jeder Konzeptänderung arbeiten. Die Komplexität der traditionellen FEM schließt ihre Verwendung in allen außer den trivialsten Konstruktionsbedingungen aus. Die Simulation, die direkt mit der Konstruktionsgeometrie arbeitet, bietet einen Weg zu schnellen, aussagekräftigen Antworten, die Designer und Ingenieure zu optimaleren Konstruktions Szenarien führen können. Nur SimSolid kann dies bieten, indem es nicht nur zeitaufwändige und expertenintensive Geometrievereinfachungstechniken, wie z. B. Defeaturing und Mid-Surfacing, eliminiert, sondern auch das Netz ganz abschafft. Das Ergebnis ist ein Simulationswerkzeug, das beides ist:

- schnell genug, sowohl in Bezug auf das Modell als auch auf die Lösungszeit, um jeden Tag verwendet zu werden, und
- einfach genug, um gelegentlich verwendet zu werden, ohne dass eine umfangreiche Schulung und Überwachung erforderlich sind.

Testen Sie SimSolid selbst. Wir denken, Sie werden zustimmen, dass es die Art und Weise ist, wie Konstruktionssimulationen durchgeführt werden sollten. Für weitere Informationen und um eine Teststellung unseres Produkts durchzuführen, besuchen Sie bitte unsere Website unter [www.simsolid.de](http://www.simsolid.de)