

Flexible Automatisierung der CAD-CAM-Prozesskette

Prof. Dr.-Ing. habil. Gerd Witt
Universität Duisburg-Essen
Institut für Produkt Engineering

Dipl.-Ing. Andreas Papsch
Duisburg

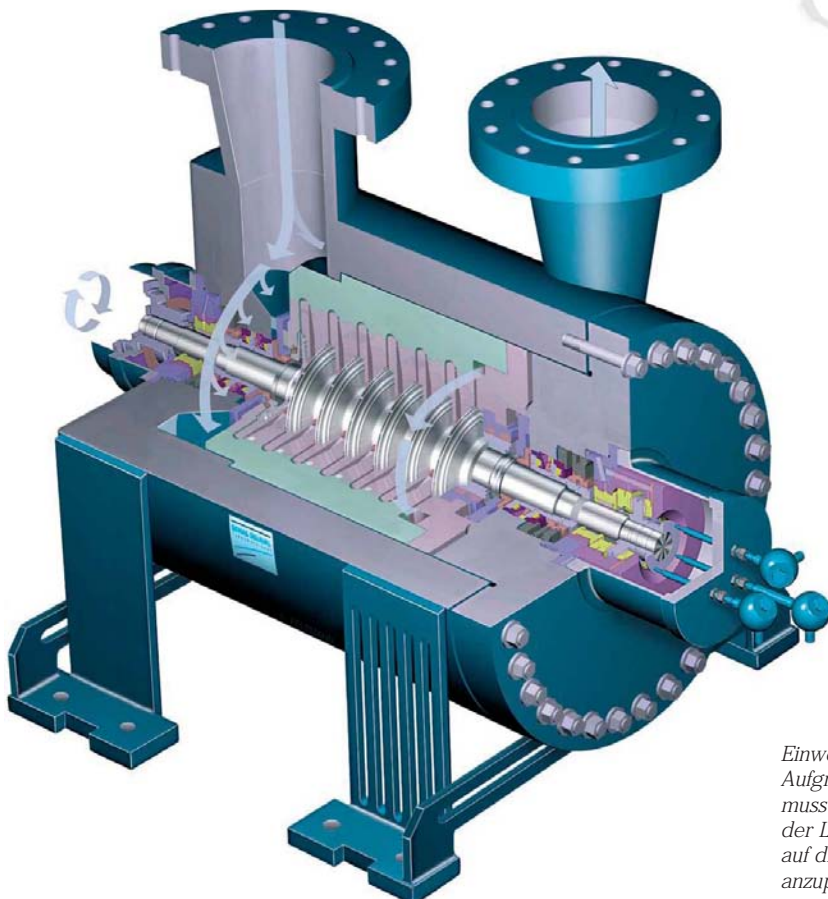
Wie eine Bohrung gebohrt wird, scheint auf den ersten Blick sehr einfach: Der Bohrer mit dem passenden Durchmesser darf nicht zu kurz gewählt werden und dann kann gebohrt werden! Praxiserfahrene Anwender wissen, dass dieses »Baumarkt-Denken« in der spanenden Metallindustrie wenig zielführend ist.

Jedes Unternehmen, jeder Anwender hat eigene, berechnete Vorstellungen über die richtige Strategie, die Alternativen und deren Priorität. Verschiedenste Hersteller bieten ein umfangreiches Sortiment an Werkzeugen an, wobei die gewählte Maschine, das Material und der Schneidstoff technologische Grenzen setzen.

Außerdem sind die geometrischen Bedingungen nicht zu vergessen, die vom Konstrukteur vor-

gedacht wurden und bei der Werkzeugwahl mit bis zu 22 identifizierten Kriterien die Werkzeugauswahl bedingen.

Diese Herausforderungen wachsen speziell bei Unikaten oder variantenreichen Produkten, da die angewandten Fertigungstechnologien sich oft unterscheiden und die Übersicht im Hinblick auf die Fertigungsmöglichkeiten und die optimale Wirtschaftlichkeit fast unmöglich wird. Speziell für die NC-Pro-



Einwellenverdichter mit vertikaler Teilfluge. Aufgrund des hohen Wettbewerbsdrucks muss ein Hersteller solcher Anlagen in der Lage sein, das Produkt in kurzer Zeit auf die spezifischen Kundenanforderungen anzupassen und es zu fertigen.

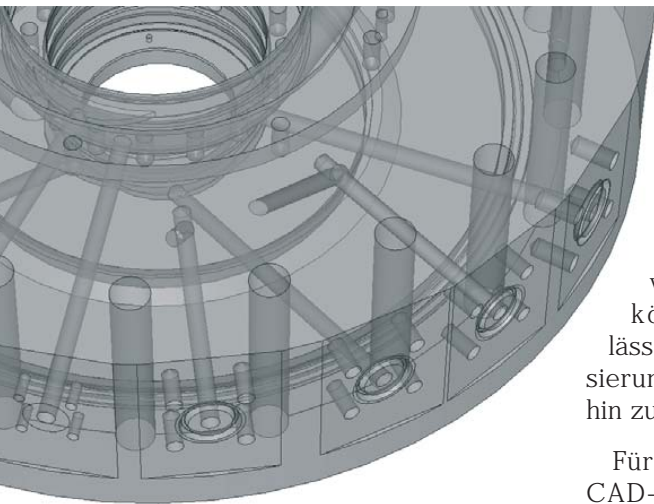


Bild 3a: Einblick in die Verdichter-geometrie. Tieflochbohrungen durchsetzen den Deckel in großer Zahl. Fertigungstechnisch sind sie aufgrund des Tiefen-Durchmesserverhältnisses und der unterschiedlichsten Ausführungsvarianten eine Herausforderung.

sensmanagementsprache weiterverarbeitet werden können. Diese Technologie lässt einen beliebigen Automatisierungsgrad der Prozesskette bis hin zum NC-Programm zu.

Für eine flexibel automatisierte CAD-CAM-Prozesskette wurden folgende Ziele definiert:

- Durchführung einer 80/20-Automatisierung mit Blick auf die Wirtschaftlichkeit,
- Änderungen im Fertigungskonzept müssen ohne Programmierkenntnisse schnell und einfach eingepflegt werden können,
- Dokumentation von technologischem Wissen sowie transparentes Darlegen der Prozesse.

Diese hohen Erwartungen an die verwendete CAD-CAM-Software erfordern – bei einer Entwicklungs- und Umsetzungsphase von drei Jahren – ein Umdenken bezüglich der Nutzung der Software-Produkte. Methodisch gilt es, eine Vielzahl neuer Wege zu beschreiten, um die Verknüpfung der Prozesskette auf hohem Niveau zu ermöglichen und so einen breiten Informationstransport zu erwirken. Mit der automatisierten CAD-CAM-Prozesskette sollen nun folgende Bereiche abgedeckt werden:

- Standardbohrungen (einfache Bohrung, Stufenbohrung, Kegelsenkbohrung),

- Sonderbohrungen (mit speziellen Geometrien, Fertigungsabläufen oder CAD-Konstruktionen),
- Geometrien die mittels Bohr-Fräsen/Spiralfräsen abgedeckt werden können sowie
- einzelne 2,5D- bis 3D-Fräsoperationen.

Die Komplexität in der Anwendung

Für eine umfangreiche Prozessautomatisierung auf der CAM-Seite ist es absolut erforderlich, dass die möglichen Variantenbausteine der CAD-Seite bekannt sind. Zunächst ist daher der Fundus an Geometriestrukturen zu ermitteln, den der Konstrukteur verwenden könnte. Für Bohrungen wird dies im Folgenden vorgestellt. Bohrungen, die bewusst oder unbewusst nicht erfasst wurden, sind dem 20-Prozent-Bereich zuzuordnen. Dafür müssen die NC-Programme manuell mit dem CAM-System erstellt werden. Wichtig bei der Aufstellung des 80-Prozent-Bereiches ist es, das nicht nur geometrische Kombinationsmöglichkeiten erfasst werden, sondern auch jegliche semantischen (nicht geometrische) Variantentreiber. In einem Progressgasverdichter wurden zum Beispiel die in *Bild 1* dargestellten geometrischen Bohrungsausprägungen ermittelt.

Neben Durchmesser und Tiefe treiben folgende Punkte die Komplexität der Bohrungsausprägungen:

- ISO-Passungen oder untere und obere Abmaße,
- Gewinde: Metrisch, Metrisch fein, TR, NPT, UNC, UNF, G aus-

stützt werden kann. Als Basis sollte eine durchgängige 3D-Prozesskette von der CAD-Modellierung bis zur CAM-Anwendung – gekoppelt an ein PDM-System – etabliert werden. Aufgrund des visuellen Eindrucks des 3D-Modells ergeben sich deutlich bessere Möglichkeiten, Entscheidungen zu treffen, sei es in der Entwicklung, Konstruktion, Arbeitsvorbereitung oder Fertigung. Es zeigt sich, dass die am Markt etablierten großen CAD-CAM-Anbieter keine Standardlösung aufzeigen können, um die in einer großen Zahl an Variantenkombinationen auftretenden gleich bleibenden Strukturbereiche effektiv und wirtschaftlich durch die CAD-CAM-Prozesskette zu schleusen.

Mit den verfügbaren CAD-, CAM- und PDM-Systemen lassen sich aber die verschiedensten Lösungen aufbauen, die den benannten Ansprüchen gerecht werden können. Für Unikatprodukte und Kleinserien sollte eine durchgängige Methodik entwickelt werden, die alle Bereiche der Prozesskette berücksichtigt und zusätzlich eine hohe Flexibilität aufweist.

Die Verknüpfung von CAD- und CAM-Anwendung wird dabei unter zu Hilfenahme der Feature-Technologie realisiert. Dieses Basiskonzept sieht vor, dass mit geometrischen und semantischen Features ein umfangreicher Informationstransport von der CAD- zur CAM-Anwendung durchführbar ist und die gesammelten Daten mit einer Software-integrierten Wis-

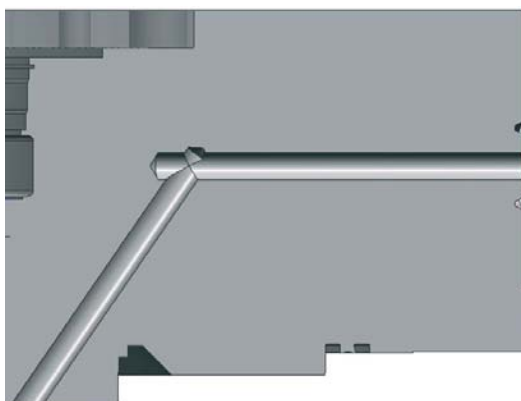


Bild 3b: Schnitt durch eine Tieflochbohrung, die von zwei Seiten aus in mehreren Prozessschritten gefertigt wird. An der Mantelfläche ist die so genannte RJ-Dichtnut im Schnitt zu sehen. Dort ist auch das so genannte Stockfinish, eine spiralförmige Dichtfläche, verbaut.

- geführt in verschiedenen Gewindelängen als Durchgangs- oder Sacklochgewinde,
- Stufen innerhalb der Bohrung, mit verschiedenen Übergängen,
 - Werkstoffgruppen: Materialien vom Baustahl bis Inconell 718, auch Edelstahl und Guss treiben nicht nur die Automatisierung sondern auch Daten in der Werkzeug- und Technologie-Datenbank,
 - Fertigungsmaschinen und deren Eigenschaften: Kühlung, Druck, Achsen, Aufnahme.

Bezüglich der Bohrstufen ist es abhängig vom Produkt sinnvoll, innerhalb der 80-Prozent-Lösung eine maximale Stufenzahl, beispielsweise 3, festzulegen. In der Praxis wird sich zeigen, ob der Bohrprozess auch für vielstufige Bohrungen optimiert werden muss. Als Grenze lässt sich zudem definieren, ob Sonderwerkzeuge über mehrere Stufen im 80-Prozent-Rahmen zu berücksichtigen sind, denn dann müssen zusätzliche Fertigungsvarianten

und Entscheidungskriterien erfasst werden. Außerdem sollte die Automatisierung als 5-Achs-simultanes System aufgebaut werden. In der Anwendung werden die Werkzeugachsen in der CAM-Software dann abhängig von der gewählten Maschine auf die vorhandenen Möglichkeiten beschränkt. Ebenso wird bei der Werkzeugauswahl die entsprechende Maschine beachtet.

Erfolgskriterium ist nicht der Source-Code, sondern das Konzept und die Methodik

Im Folgenden wird das Grundkonzept zur Optimierung der Gesamtprozesskette beschrieben. Grundsätzlich soll der Anwender – hauptsächlich der NC-Programmierer, aber auch Konstrukteure, Arbeitsvorbereiter und Maschinenbediener – nicht nur den »roten Knopf« drücken müssen, sein Wissen ist weiterhin explizit notwendig. Der Anwender wird den Prozess vorbereiten müssen, um beispielsweise fall-

spezifische Informationen in den Gesamtprozess einzubringen. Zudem sind die abschließende Qualitätsbeurteilung und eine eventuelle Nachbesserung oder Optimierung von Teilbereichen durchzuführen. Ob während des Rechenprozesses eine Interaktion durch den Anwender zugelassen werden sollte, wird derzeit noch diskutiert. Der Prozess ist interaktiv oder im Batchmode durchführbar. Dies wird abhängig von der zu erwartenden Gesamtrechenzeit entschieden werden, so dass sich auch hier die Effizienz steigern lässt.

Grundsätzlich wird bei der Entwicklung der Automatisierungstechnologie das Konzept verfolgt, sehr nah an einem CAD-CAM-Software-Standard zu bleiben, um die Lösung auch an weiteren Standorten und für andere Produkten problemlos einsetzen zu können. Ein weiterer Aspekt ist die Minimierung des Pflegeaufwandes bei einem Versionswechsel der CAD-CAM-Software. Sehr wichtig ist dabei die

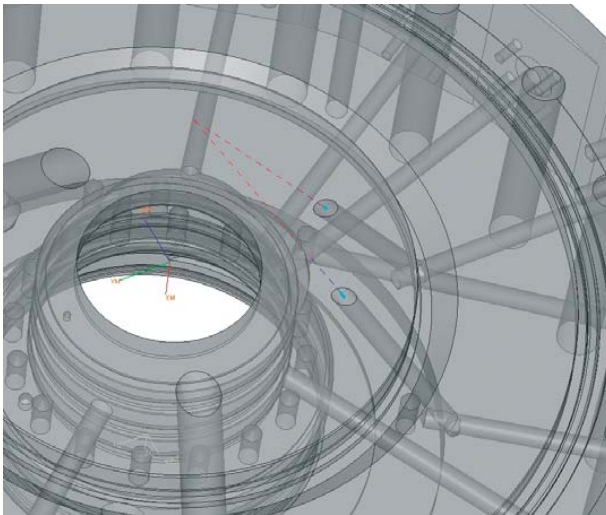


Bild 4a: Anflächfräsen der schief ins Material eintauchenden Bohrung, damit die Tieflochbohrer senkrecht ins Material eintauchen können.

entwickelte Methodik, mit der der CAD-CAM-Automatisierungsprozess realisiert wird und die Wissens- und Regelstrukturen eingebunden werden. Anhand einer ausgefeilten Basislösung ist dieses Konzept dann auch bei anderen Produkten einfacher einsetzbar. Als Basis des Konzeptes hat sich gezeigt, dass eine flexible Automatisierung des CAM-Prozesses auf drei Grundpfeilern aufzubauen ist. Diese drei Bereiche sollten möglichst klar getrennt werden, da ansonsten Probleme bei der späteren Pflege auftreten werden. Die CAD-Daten, die methodisch vorgedacht wurden, können anschließend im CAM-Prozess hervorragend weiter verwendet werden.

Innerhalb der CAM-Software wird mit Templates, Makros oder Vorlagen – im weiteren nur Template genannt – gearbeitet, die die CAM-Operationen und weitere Strukturen zur Wiederverwendung innerhalb neuer Programme vorhalten (Bild 2). Das Template wird bei der Automatisierung als Träger von Dummy-Gruppen und -Operationen verwendet. Aufgrund von möglichen Aufwänden bei Versionswechseln der CAD-CAM-Software werden die im Template gespeicherten Informationen sehr gering gehalten. Verknüpfungen mit dem Programmcode sind auf das Notwendigste zu beschränken. Die Ablage von Wissens- und Regelstrukturen ist absolut vermieden worden, da dieses Wissen innerhalb des Templates den Prozess ver-

steift und folglich keine generalisierten Lösungsmuster aufgebaut werden können. Die Regelstruktur, die den Programmcode für den Automatisierungsprozess enthält, ist so aufgebaut, dass keine Fertigungstechnologien enthalten sind. Das Fertigungswissen soll in der Wissensdatenbank abgelegt werden.

Teilweise ist es jedoch erforderlich, spezielle Werte innerhalb der Regelstruktur genauer zu berechnen und auf Basis von Zelleninhalten zwischen Alternativen zu entscheiden. Hierbei ist sehr genau darauf zu achten, dass bei Sonderlösungen keine allgemeinen und

flexiblen Wege verbaut werden. Das Fertigungswissen liegt grundsätzlich in einer Wissensdatenbank. Diese Datenbank sollte über eine vorkonfigurierte Anwenderoberfläche gefüllt werden. Pull-Down-Menüs und bedingt formatierte Wertfelder sollten von vorne herein fehlerhafte Eingaben vermeiden. Außerdem ist die Wissensdatenbank erweiterbar aufzubauen, so dass jederzeit zusätzliche Fertigungsstrategien eingeführt werden können.

Die ersten Erfolge geben dem Konzept Recht

Die Vorlaufzeit von über einem Jahr bis zum ersten produktiven Teil hat sich gelohnt. Bereits vor der Fertigung zeigte sich, dass auf technologische Änderungen und Ideen schnell reagiert und folglich die NC-Ausgabe grundlegend verändert werden kann. Im Folgenden wird exemplarisch eine Bohrung vorgestellt, die durch die Konstruktion innerhalb weniger Minuten anhand eines Konstruktionsstandards eingebracht wurde. Diese Bohrung ist keine Standardbohrung sondern vollständig parametrisch und wird durch 15 freie Eingabewerte definiert (Bild 3a und 3b). Die Bohrung

Siemens PG I3 arbeitet erfolgreich mit NX von UGS

Siemens Power Generation Oil & Gas and Industrial Application (PG I3) in Duisburg entwickelt, konstruiert und fertigt Prozessverdichter und Verdichterstränge. Dazu gehören ein oder mehrere Prozessverdichter inklusive Antrieb, Prozessverrohrung und Steuerungstechnik. Da die stark variierenden Anforderungen hinsichtlich Fördermedium, Druckbereich, Leistung und Umweltbedingungen in der Regel Unikate erfordern, werden die Komponenten für die unterschiedlichsten Einsatzbereiche in der Öl-, Gas- und Chemie-Industrie projektspezifisch angepasst.

Aufgrund des hohen Wettbewerbsdrucks muss ein Hersteller solcher Anlagen in der Lage sein, das Produkt in kurzer Zeit auf die spezifischen Kundenanforderungen anzupassen und es zu fertigen. Diese An-

forderungen bedingen ein hohes Maß an Flexibilität bei der technischen Projektierung, der Abwicklung und der Fertigung solcher Anlagen, die ungleich höher ist, als bei Serienfertigung, da kaum Einfahrzeiten oder Fertigungstests, möglich sind.

Um diese Flexibilität bei wettbewerbsfähigen Kosten und einer hohen Prozesssicherheit zu erreichen, ist die Nutzung einer modernen PDM-Lösung erforderlich. Die Siemens PG I3 setzt zu diesem Zweck die Software TeamCenter Engineering sowie eine integrierte CAD-CAM-Prozesskette (NX CAD, NX CAM, NX Piping) ein. Ein besonderes Augenmerk verdient dabei die Nutzung der Feature-Technologie, die – wie im Artikel beschrieben – zur Automatisierung der CAD-CAM-Prozesskette verwendet wird.

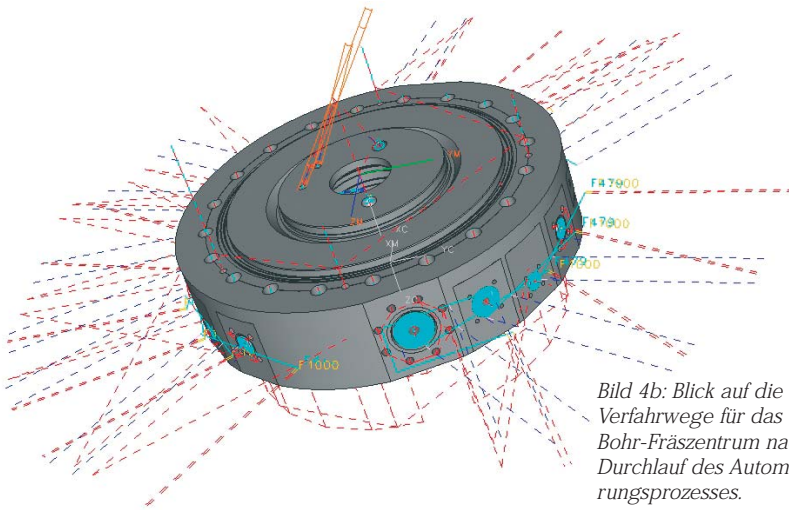


Bild 4b: Blick auf die erzeugten Verfahrensweg für das 5-Achs-Bohr-Fräszentrum nach dem Durchlauf des Automatisierungsprozesses.

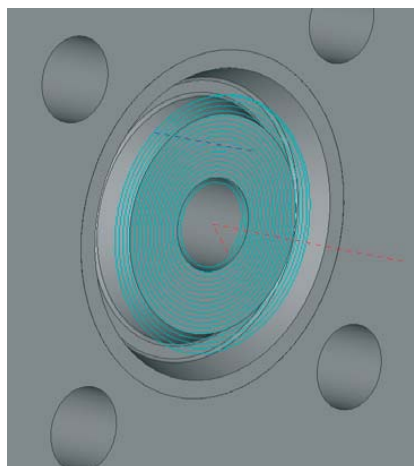
wird zunächst automatisch als schief ins Material eintauchend erkannt. Somit flächt die erste Operation durch ein Tauchfräsverfahren das Rohteil an, damit die nachfolgenden Bohrprozesse in eine senkrechte Fläche eintauchen können. Die Tiefe wird nach einer vorgegebenen Formel berechnet und das Werkzeug entsprechend der Regelstruktur ausgewählt (Bild 4a und 4b).

Die vier nachfolgenden Bohroperationen werden mit unterschiedlichen Werkzeugen und Parametern gefüllt und arbeiten so die Geometrie nach und nach ab. Schnittbedingungen und Zyklen wurden individuell angepasst, ebenso wird die Achse der Bohrung entsprechend der geometrischen Lage ermittelt. Die Operationen und Gruppen erhalten nach festgelegten, aber individuell veränderbaren Regeln, ihre Namen. Die Reihenfolge der Operationen ist durch das ausgewählte Fertigungskonzept aus der Wissensdatenbank vorgegeben, so dass die Operationen entsprechend in den Programmverlauf eingesetzt werden. Nach dem Bohrprozess werden eine spiralförmige Dichtfläche und zusätzlich durch ein spezielles Sonderwerkzeug eine Dichtnut mittels Tauchfräsen ins Material eingebracht (Bild 5).

Innerhalb des Prozesses werden die einzelnen Bohrungen nach flexiblen Kriterien gruppiert, wodurch auch unterschiedliche Bearbeitungsreihenfolgen realisierbar sind. Je nach Entfernung und Aufspannung der Bohrungen können meh-

rere Bohrungen gleichzeitig oder hintereinander fertig bearbeitet werden. Während dieses Hauptprozesses werden zusätzliche Daten aus dem Prozess heraus geschrieben, um dem Anwender das Prozessergebnis transparent und übersichtlich aufzubereiten. Denn bei einer so umfangreichen CAD-CAM-Prozessautomatisierung darf nie die Schnittstelle zum Anwender vernachlässigt werden. Andernfalls würde das System an Akzeptanz verlieren, wenn es als so genannte Black-Box auftritt und kaum verständlich ist. Außerdem würde die Wirtschaftlichkeit sinken, wenn jede Operation einzeln auf Richtigkeit überprüft werden müsste.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit, zur Verkürzung der Durchlaufzeiten und zur Verbesserung der Sicherheit sinnvoll ist, eine durchgängige automatisierte CAD-CAM-Prozesskette zu etablieren. Die Feature-



Technologie bietet eine effiziente Grundlage, um den CAD- mit dem CAM-Bereich in optimaler Weise zu verzahnen. Auf diese Weise können CAD-Bauteile mit Hilfe von Konstruktionselementen erstellt werden, die ihrerseits schon mit Fertigungsinformationen versehen sind. Werden Features durch den Konstrukteur eingesetzt, ist die Bearbeitung entlang der nachfolgenden Prozesskette vordefiniert oder kanalisiert, ohne dass in der Fertigungsplanung nochmals eingegriffen werden muss.

Die Bearbeitung entlang der Prozesskette ist vordefiniert oder kanalisiert

Bei dieser Art von Prozessautomatisierung sollte der Automatisierungsgrad nicht zwingend 100 Prozent erreichen, da sonst die Entwicklungskosten die Einsparung übersteigen würden. Als optimal hat sich das Drei-Grundpfeiler-Konzept, bestehend aus Template, Wissensdatenbank und Regelstruktur, herausgestellt, das eine Trennung der einzelnen Bereiche zur besseren Datenpflege vorsieht. Als besonders wichtig wurden die Mensch-Maschine-Schnittstellen erkannt, sei es für die IT-Administration, die Fertigungs-Administration und auch die Anwender, und das System in diese Richtung hin optimiert. Ein zukünftiges Ziel wird es sein, eine Administration ohne Programmierung von Source Code zu ermöglichen, um das System so einer breiteren Nutzerschicht zugänglich zu machen. Erste produktive Erfolge geben dem Gesamtkonzept Recht. Unter anderem konnte am Beispiel »Bohren von Verdichterbauteilen« die beschriebene Funktionalität mit dem System NX von UGS nachgewiesen werden. Die Übertragung der gegebenen Problemstellung auf andere Produktbereiche und andere geometrische Formen ist möglich und wird in den nächsten Monaten angestrebt. △

Bild 5: Verfahrensweg zum Fertigen des Stockfinish, einer Dichtfläche für Flanschanschlüsse.