

Integrierte Produktmodellierung von Sonderformen im Behälter- und Rohrleitungsbau

PETER KÖHLER UND OLIVER STROHMEIER *

1 Problemstellung

Die Einführung leistungsfähiger parametrischer CAx-Systeme und ein durchgängiges Ingenieurdatenmanagement ist aktuelle Aufgabe in vielen Unternehmen. Gerade bei nicht alltäglichen Konstruktionsaufgaben muss jedoch festgestellt werden, dass auch mit diesen modernen Werkzeugen häufig spezielle Problembereiche nicht abgedeckt werden können.

Die Untersuchungen an einer Reihe kommerzieller CAD-Systeme und deren Blech-Tools haben gezeigt, dass im Bereich der Blechkonstruktionen für den Anlagenbauer vor allem zwei Schwachstellen auf Systemseite zu kompensieren bzw. zu beseitigen sind. Zum einen gelingt es mit den zur Zeit integrierten Modellierungsoptionen nicht in allen Fällen, Bauteiloberflächen biegeumformgerecht zu generieren. Zum anderen sind die integrierten Softwaretools für Blechbiegeteile nur bedingt geeignet, auch Sonderformen abzuwickeln.

Mit speziellen Branchenlösungen zum Thema Blechabwicklung lässt sich zwar eine gewisse Anzahl von Sonderformen erzeugen, ein flexibles Reagieren auf veränderte Anforderungen oder die Umsetzung von anlagenspezifischen Besonderheiten ist damit jedoch nicht möglich.

Generell ist festzustellen, dass die Möglichkeiten zur Integration von „Expertenwissen“ zur fertigungs- und funktionsgerechten Geometriemodellierung nicht ausreichen bzw. sich nur sehr schwer dem Anwender von CAD-Systemen erschließen.

Am Lehrstuhl „Rechnereinsatz in der Konstruktion“ wurde der Prototyp eines Anwendungssystems für die Gestaltung und Bearbeitung von Sonderkonstruktionen im Behälter- und Rohrleitungsbau entwickelt.

Ziel war nicht die Schaffung einer neuen Insellösung zum Thema Blechabwicklung sondern die bidirektionale Integration von Anwendungslösungen in kommerzielle CAD-Systeme.

Im Rahmen des Projektes wurden Richtlinien, Methoden, Algorithmen und Softwaretools zur konstruktiven, biegeumformungsgerechten Gestaltung von komplizierten aus Blech zu fertigenden Formstücken und Baugruppen entwickelt, die vollständig vor allem in die CAD-Systeme integriert werden können, die auf dem ACIS-Geometriekern basieren. Anhand der erarbeiteten funktions- und fertigungsorientierten Problemstrukturierungen und der entwickelten bzw. aufbereiteten konstruktiv-geometri-

schen bzw. differentialgeometrischen Grundlagen zur Behandlung von Sonderformen ist auch eine Integration in nicht ACIS-basierte CAD-Systeme möglich, wenn es dort vergleichbare Möglichkeiten gibt, die anwendungsorientierten Gestaltungsfeature und Dialogkomponenten einzubinden bzw. anforderungsgerecht zu kreieren.

Aus Anwendungssicht waren vor allem drei Hauptaufgaben zu lösen:

- Entwurf geeigneter Konstruktions- und Gestaltungsfeature
- Kompensierung von Schwächen der CAD-Systeme zur Beachtung differentialgeometrischer Randbedingungen bei der Erzeugung von Regelflächen
- Abwicklung von Sonderformen in den Blechbiegeteil-Tools der CAD-Systeme.

2 Differentialgeometrische Grundlagen

Aus der Differentialgeometrie ist bekannt, dass alle exakt abwickelbaren Flächen (Torsen) zu den Regelflächen gehören, die ja durch die Bewegung einer Geraden entlang einer Leitkurve entsprechend einer Vorschrift (konstante oder variable Richtungsvektoren) erzeugt werden können. Nicht jede Regelfläche ist jedoch auch abwickelbar. Zu den Torsen zählen ausschließlich beliebige Zylinder-, Kegel- und Tangentenflächen.

Für den Fall, dass der Konstrukteur zwischen zwei Kurven eine exakt abwickelbare Fläche erzeugen will, sind weitere differentialgeometrische Gesichtspunkte der Abwickelbarkeit zu beachten. Letztendlich gilt auch, dass die Mantelfläche eines Körpers abwickelbar ist, wenn sie durch die Bewegung einer Geraden entlang zweier Kurven erzeugt werden kann und diese Gerade stets in einer Tangentialebene liegt. Es gilt daher für jeden Punkt der einen Kurve einen oder mehrere Punkte auf der anderen Kurve derart zu finden, dass die Tangenten beider Punkte in einer Ebene liegen [1] (s. Abb. 1).

Die Tangenten zweier in Parameterform gegebener Raumkurven liegen genau dann in einer Ebene, wenn gilt:

$$\begin{vmatrix} g_1(w) - f_1(u) & g_2(w) - f_2(u) & g_3(w) - f_3(u) \\ f'_1(u) & f'_2(u) & f'_3(u) \\ g'_1(w) & g'_2(w) & g'_3(w) \end{vmatrix} = 0$$

Für jeden Wert des Parameters u der einen Kurve muss es daher einen Parameterwert $w = w(u)$ der anderen Kurve geben, so dass die Gleichung erfüllt ist.

In CAD-Systemen werden Verbindungsflächen jedoch in der Regel mit Hilfe einer gleichmäßigen Teilung der Verbundquerschnitte erzeugt, so dass nur in speziellen Fällen eine Torse entsteht. Einige Systeme lassen es zu, die systemintern festgelegten Teilungspunkte zu manipulieren. Diese Methode setzt ein Höchstmaß an Erfahrung voraus und bietet keine Garantie für eine abwicklungsgerechte Flächengenerierung.

Abb. 2 zeigt Übergangsstücke zwischen kreisförmigen und elliptischen Querschnitten. Die Facettierung der Mantelfläche des linken Bauteiles ist auf Grundlage einer

* Prof. Dr.-Ing. P. KÖHLER, Dipl.-Ing. O. STROHMEIER, Rechnereinsatz in der Konstruktion, Institut für Produkt Engineering, Gerhard-Mercator-Universität Duisburg, D-47048 Duisburg.

Abbildung 1.
Tangentialebene.

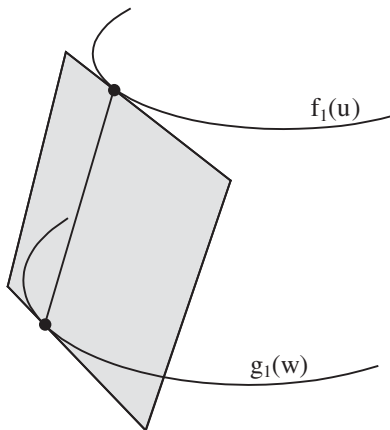
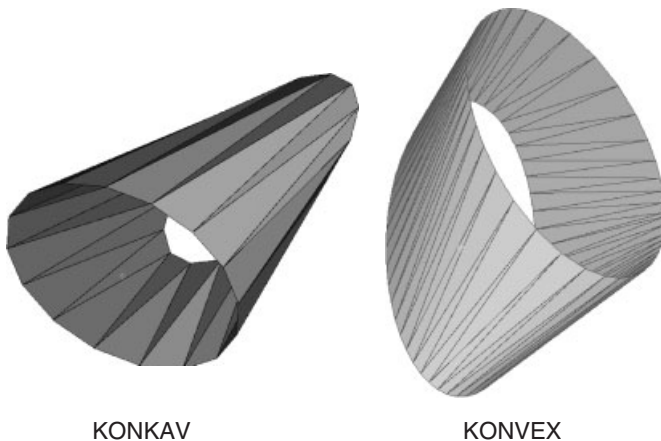


Abbildung 2.
Flächenapproximationen.



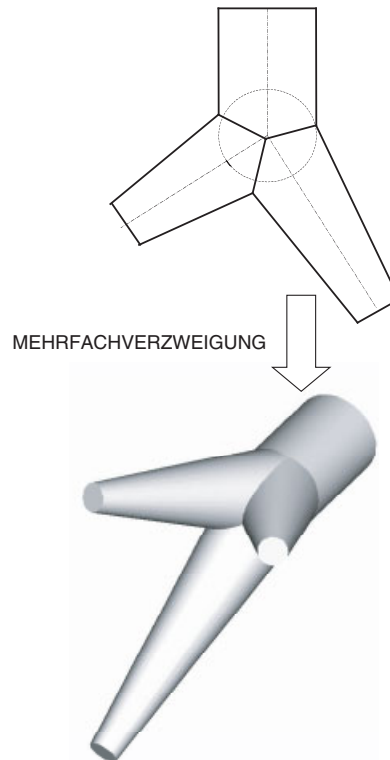
gleichmäßigen Teilung der Anschlusskonturen generiert worden. Diese Flächenapproximation kann zwar abgewickelt werden, dennoch ist sie nicht qualitätsgerecht, da sich positive und negative Biegewinkel ergeben, die fertigungstechnisch und optisch nicht zu akzeptieren sind. Ziel muss daher sein, zwischen konvexen Anschlusskonturen auch konvexe Mantelflächen zu erzeugen. Dafür sind die oben genannten Tangentialitätsbedingungen systemintern umzusetzen. Das rechte Bauteil in Abb. 2 zeigt eine dementsprechende Modellgenerierung.

Zur Flächenanalyse kann in leistungsfähigen CAD-Systemen die Gaußsche Krümmung genutzt werden. Sie ist durch das Produkt der beiden Hauptkrümmungen definiert und muss für exakt abwickelbare Flächen in allen Punkten gleich Null sein.

3 Entwicklung spezieller Gestaltungsfeature

Das Kugeltangentenverfahren (s. Abb. 3) ist ein allgemein anerkanntes Grundprinzip für die Verknüpfung von Drehzylinder- bzw. Drehkegelflächen, um stückweise ebene Durchdringungskurven zu erzeugen [2]. Ohne Rechneinsatz ergeben sich für dessen Anwendung jedoch Einschränkungen, da das räumliche Vorstellungsvermögen der jewei-

Abbildung 3.
Modellierung mit Hilfskugeln.



ligen Bearbeiter Grenzen hat. Durch Zusammenfassung notwendiger Arbeitsschritte in funktions- und geometrieorientierte Gestaltungsfeature kann es jedoch auch für beliebig orientierte Umlenkungen, Ab- und Verzweigungen genutzt werden. Zu den in Feature integrierten Modellierungsschritten gehört die Erzeugung erforderlicher Bezugsebenen und Bezugsachsen, die die Lage und Orientierung der Anschlussquerschnitte repräsentieren. Hinzu kommen Bezugselemente, die die Hilfskugeln abbilden. Im Idealfall erlaubt das CAD-System die direkte Erzeugung der Hilfskugeln. Andernfalls werden hierfür entsprechende Kreise als Bezugselemente verwendet. Da diese mehrteiligen Problemstellungen stets auch mit der Lösung von Verschneidungs- bzw. Durchdringungsproblemen verbunden sind, waren weitere Featurekomponenten erforderlich, um die Teilflächen entsprechend der zu realisierenden Aufgabe zu trimmen bzw. zu verschneiden.

Das Kugeltangentenverfahren ist mit Modifizierungen auf schiefe Kreiszyylinder und Kreiskegel bzw. elliptische Torsen übertragbar, wenn geeignete Ellipsen oder Ellipsoide als Bezugselemente angegeben werden können.

Mit dem ebenfalls in einigen Gestaltungsfeature integrierten Kugelabschnittverfahren können Umlenkungen und Verzweigungen zwischen nicht parallelen Kreisanschlüssen so generiert werden, dass die Mantelfläche Teil eines elliptischen Zylinders oder Kegels ist. Damit ist automatisch die Gauß'sche Flächenkrümmung gleich Null.

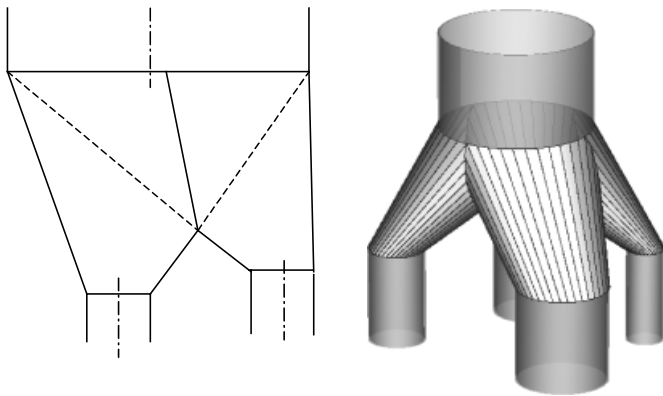
Bei diesem Verfahren wird die Besonderheit genutzt, dass zwischen zwei beliebigen Schnittflächen einer Kugel stets eine elliptische Zylinder- bzw. Kegelfläche aufgespannt werden kann (s. Abb. 4).

Zwischen zwei Kreistorsen ergeben sich darüber hinaus immer dann ebene Schnittkurven, wenn sie minde-

Abbildung 4.
Kugelabschnittverfahren.



Abbildung 5.
Auslaufkonen am Behälter.



stens einen Kreis gemeinsam haben. Somit können in einem 3D-CAD-System auch leicht Mehrfachverzweigungen, Stützensonderformen und ähnliches mit stückweise ebenen Schnittkurven erzeugt werden (s. Abb. 5).

Diesen geometrischen Gesetzmäßigkeiten tragen die entwickelten Gestaltungsfeature für Umlenkungen, Verzweigungen, An- und Einpassungen Rechnung. Darüber hinaus wurden spezielle Gestaltungsfeature für Verbundflächen und Übergangsstücke und darauf aufbauende Sonderformen für Hosenstücke und Stützen entwickelt. Hierbei werden auch Anschlussquerschnitte sachgerecht behandelt, die in einer geknickten Ebene liegen.

4 Flächenapproximation

In Bereichen der Blechkonstruktion, in denen die abwicklungsgerechte Konstruktion auf Basis von Standardformen nicht mehr abgedeckt wird, kommen Näherungslösungen zum Einsatz. Herkömmlich verwendet der Apparatebauer dafür das sogenannte Dreiecksverfahren. Hier werden die betreffenden Querschnitte unter einer gleichmäßigen Teilung mit Hilfe von Dreiecken miteinander verbunden. Die Abwicklung erfolgt durch das „Aneinanderlegen“ der einzelnen Dreiecke in einer Ebene. Dieses Verfahren liefert jedoch nicht immer brauchbare Ergebnisse, insbesondere dann nicht, wenn die Anschlussquer-

schnitte nicht parallel zueinander liegen. Entscheidend für eine möglichst gute Annäherung an eine abwickelbare Mantelfläche ist die Lage der einzelnen Mantellinien, da sich diese längengetreu in die Ebene abbilden lassen. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden Algorithmen entwickelt, die beruhend auf den notwendigen differentialgeometrischen Grundlagen die Punkte und Richtungsvektoren der einzelnen Mantellinien berechnen.

Da bei der Abwicklungsermittlung innerhalb der Blechtools kommerzieller CAD-Systeme unter Umständen Häufungen von Dreieckflächen zu Problemen führen können, wurden alternative Viereckverfahren zur Beschreibung der Mantelfläche entwickelt. Hier erfolgt die Flächenannäherung von „außen“, d. h. die Tangentialebenen (s. Abb. 1) werden selbst zu Teilflächen der Facettierung. Bei starken Krümmungen der Anschlusskonturen können diese Näherungen zu grob werden, so dass die Verfahren weiter modifiziert wurden.

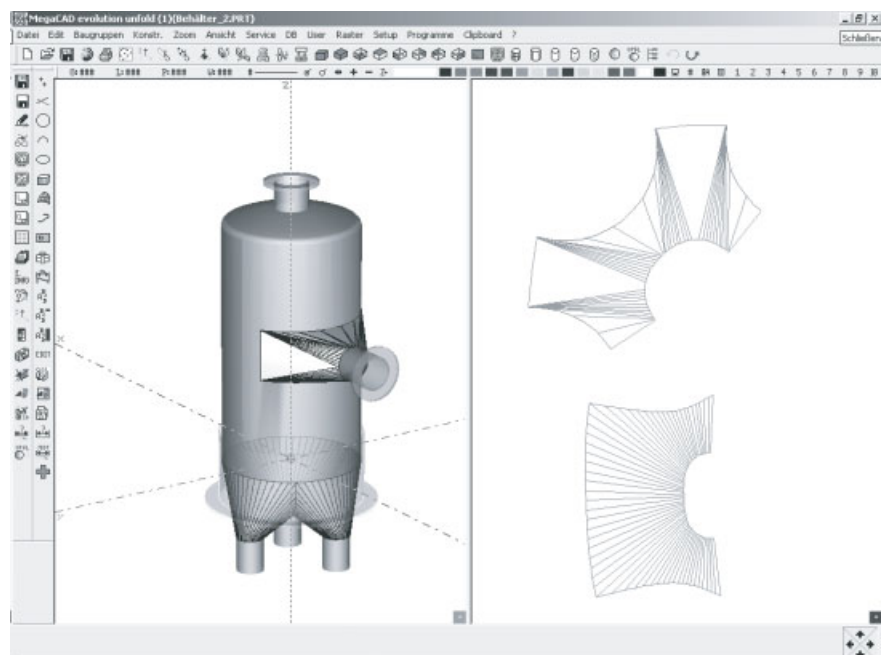
5 Systemintegration

Auf Basis des Geometriekernels ACIS und der Microsoft-FoundationClasses wurden die gewonnen Ergebnisse in ein Anwendungssystem umgesetzt, das in unterschiedliche CAD-Systeme integriert werden kann.

Damit kann der Konstrukteur wie gewohnt in seinem CAD-System arbeiten. Hier hat er die Möglichkeit die Dialogkomponenten des Anwendungssystems aufzurufen. Die Konstruktions- und Gestaltungsfeature wurden bereits erläutert, so dass im folgenden vor allem beschrieben wird, wie die entwickelte ACIS-Anwendung für Sonderformen in den Benutzerdialog integriert wurde.

Anhand von Abb. 6 sollen zwei Anwendungssituationen erläutert werden. Eine der zu lösenden Auf-

Abbildung 6.
Anwendungsbeispiel.



gaben bestand darin, eine Mehrfachverzweigung an einem Behälterauslauf zu konstruieren. Hierbei wurde nicht auf ein bereits vordefiniertes Konstruktionsfeature zurückgegriffen, sondern der allgemeingültigere Weg beschritten. Nachdem der Anwender seine Konstruktionsabsicht („Generiere Verzweigung“) dem System mitgeteilt hat, wählt er interaktiv am Bildschirm die betreffenden Anschlusssektionen aus. Im Beispiel sind dies der untere Querschnitt am Behältermantel und die Querschnitte der Verzweigungen, die im gewählten Beispiel bereits durch die definierten Anschlussrohre feststehen. Systemintern wird zwischen Start- und Zielquerschnitten unterschieden. Im ersten Fall ist nur eine Querschnittswahl möglich. Die Anzahl der Verzweigungen (Zielquerschnitte) ist dagegen nicht begrenzt. Die Auswahl wird vom System auf Eingabefehler hin geprüft, wie die doppelte Auswahl eines Anschlussquerschnitts oder eine leere Auswahl. Ist die Eingabe fehlerfrei kann der Konstrukteur vor der systeminternen Ermittlung der Geometrie noch die gewünschte Genauigkeit (Anzahl der zu erzeugenden Mantellinien) festlegen. Ebenso besteht die Möglichkeit die Art und Weise der Mantelflächenfacettierung zu steuern. Dafür stehen zwei Möglichkeiten zur Auswahl, das voreingestellte Dreiecksverfahren und das Viereckverfahren. Eine entsprechende Auswahl hat Einfluss auf die spätere Abwicklung, die mit dem Blechtools des CAD-Systems erfolgen sollte.

Im folgenden internen Analyselauf werden Konstruktionsabsichten mit Hilfe von Feature-Erkennungsalgorithmen erfasst und deren Umsetzung vorbereitet. Die Auswahl von mehreren Zielquerschnitten wird als Feature „Hosenrohr“ bzw. „Verzweigung“ erkannt und dem entsprechend verarbeitet. Nachdem alle Anschlussgeometrien und Konstruktionsabsichten geklärt sind, werden unter Beachtung der bereits erläuterten differentialgeometrischen Randbedingungen die facettierten Mantelflächen der Übergangsstücke bzw. Verbundkörper erzeugt. Bei kreisförmigen

oder elliptischen Konturelementen wird intern überprüft, ob sich Teilflächen als Kreiszylinder- oder Kreiskegelflächen generieren lassen, um so unnötige Flächenannäherungen zu vermeiden.

Nachdem systemintern auch alle notwendigen Verschneidungen durchgeführt wurden, stehen die fertigen Modelle der Auslaufkonen dem Konstrukteur für die weitere Bearbeitung zur Verfügung. Im rechten Bildschirmfenster ist eine der ermittelten Abwicklungen dargestellt. Der zweite dargestellte Blechzuschnitt gehört zu dem Übergangsstutzen. Die Besonderheit dieser Sonderform ist, dass der Zielquerschnitt aus mehreren Segmenten besteht, die in unterschiedlichen Ebenen liegen. Auch für diese „geknickten“ Anschlusskonturen wurden entsprechende Verfahren entwickelt, um abwickelbare Mantelflächen bzw. möglichst gute Flächenapproximationen zu generieren.

Das Forschungsvorhaben (AiF-Nr. 12217 N) wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft der industriellen Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) gefördert und vom Arbeitskreis „Beanspruchungsgerechtes Konstruieren“ der Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (DECHEMA) fachlich begleitet.

Eingegangen am 26. Februar 2002 [K 3021]

Literatur

- [1] P. Köhler, Blechabwicklungen und Durchdringungen, 2. bearbeitete Auflage, Verlag Technik, Berlin **1989**.
- [2] P. Köhler, Moderne Konstruktionsmethoden im Maschinenbau, 1. Auflage, Vogel-Verlag, Würzburg **2002**.