

## **Rechnergestützte Arbeitsvorbereitung – Quelle der Rationalisierung**

### **Einleitung**

Bei der Fertigung eines Gussteiles fällt eine Vielzahl von Informationen an. Eine systematische Erfassung, Aufbereitung, Auswertung und Verwaltung dieser Daten bildet die Grundlage für eine zuverlässige und effiziente Arbeitsvorbereitung. Leider wird dies in vielen Gießereiunternehmen unterschätzt bzw. man verlässt sich auf die Erfahrungen und das Erinnerungsvermögen der einzelnen Mitarbeiter. Häufig sind jedoch auch Termindruck und Mangel an qualifiziertem Personal, speziell in den nichtwertschöpfenden Bereichen Ursache für unvollständig aufbereitete Informationen einschließlich fehlender Nachkalkulationen bezüglich der einzelnen Gussteile und Aufträge. Erschwerend für eine effiziente Arbeitsvorbereitung kommt hinzu, dass die Informationen, welche im Verlauf der Bearbeitung der Angebots- und Fertigungsunterlagen entstehen, in der Regel dezentral in den Unternehmen abgelegt werden. Im Bedarfsfall führt dies zu zeitaufwendigen Rücksprachen und der Suche nach den gewünschten Unterlagen. So werden diverse Dokumente des Kunden wie Anfrageunterlagen und Angebote im Vertrieb archiviert, die zugehörigen Zeichnungssätze mit Vermerken zur Einformlage und den technologischen Parametern finden sich hingegen in der Arbeitsvorbereitung wieder. Die CAD-Daten verbleiben in der Regel bei den Modellbauern und sind für die Gießereien, z.B. zum Aufbau eines modernen Ordnungssystems, zunächst nicht nutz- bzw. verfügbar. Weit umfangreicher gestaltet sich die Informationsflut, welche bei der Fertigung und Qualitätssicherung eines Gussteiles bzw. eines Auftrages entsteht. Dazu gehören Analyseergebnisse, technologische Parameter, Ergebnisse der Werkstoffprüfung, wie Röntgenbilder und Gefügebildnahmen, Messprotokolle u.a.m., welche in der Regel bereichsbezogen klassifiziert abgelegt werden. Erschwerend kommt hinzu, dass verschiedene Informationen rechenstechnisch abgespeichert andere wiederum in Form von Papier, Fotografien oder vergegenständlicht in Form von Modellen oder Prototypen vorliegen. Eine konsequente Auswertung und Dokumentation dieser prozess- und produktbezogenen Daten ist jedoch Voraussetzung für die stetige Verbesserung des Know how eines Unternehmens. Nur so können wiederholt Fehler in der Fertigung vermieden und das Erfahrungswissen ständig ergänzt und vervollständigt werden. Dieses bildet wiederum die Basis für qualifizierte und genaue Angebotskalkulationen. Zur Aufbereitung und Systeme-

---

\* Ines Hofmann, wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg  
Sylke Krötzsch, wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Technische Informatik der Otto-von-Guericke-Universität  
Norbert Miersch, Dozent an der Technischen Fachhochschule Wildau

matisierung der Daten bieten sich verschiedene Konzepte, wie z.B. die Verknüpfung von Geometriefeatures mit Erfahrungselementen, an [1].

Neben der Erhöhung der Transparenz des Informationsflusses und der Verbesserung der Qualität und Quantität von Informationen in Planungsdokumenten im eigenen Unternehmen sehen sich die Gießereien zunehmend vor die Aufgabe gestellt, externe Informationsquellen zu erschließen. Dies ist speziell dann von Interesse, wenn sie auf Ausschreibungen der Automobilindustrie reagieren möchten. Diese Ausschreibungen, auf welche in der Regel über das Internet zugegriffen werden kann, beinhalten zunehmend weniger Informationen zum angefragten Bauteil. Die Erarbeitung eines funktionstüchtigen, wirtschaftlichen und fertigungsgerecht gestalteten Prototyps setzt demzufolge neben Erfahrungswissen häufig kreatives Denken zur Generierung konstruktiver Varianten voraus. Zur Unterstützung des Konstruktions- und Entwicklungsprozesses bietet sich beispielsweise ein schneller Zugriff auf bekannte Patentlösungen an. Im Internet sind diesbezüglich weltweit eine Vielzahl von Patentdatenbanken verfügbar [2]. An Lösungen zur gezielten Suche gleichzeitig über mehrere Datenbanken wird derzeit in einem Teilvorhaben im Rahmen der DFG-Forschergruppe „*Workbench für die Informationsfusion*“ an der Otto-von-Guericke-Universität gearbeitet.

Als vorteilhaft erweist sich allgemein der Trend, dass zunehmend geometrische als auch herkömmliche Daten rechentechnisch erstellt und über verschiedene Netzwerke (Internet, Intranet) ausgetauscht werden. Dies erleichtert zukünftig die Umsetzung durchgängig rechnerunterstützter Lösungen und die Dokumentation von Wissen.

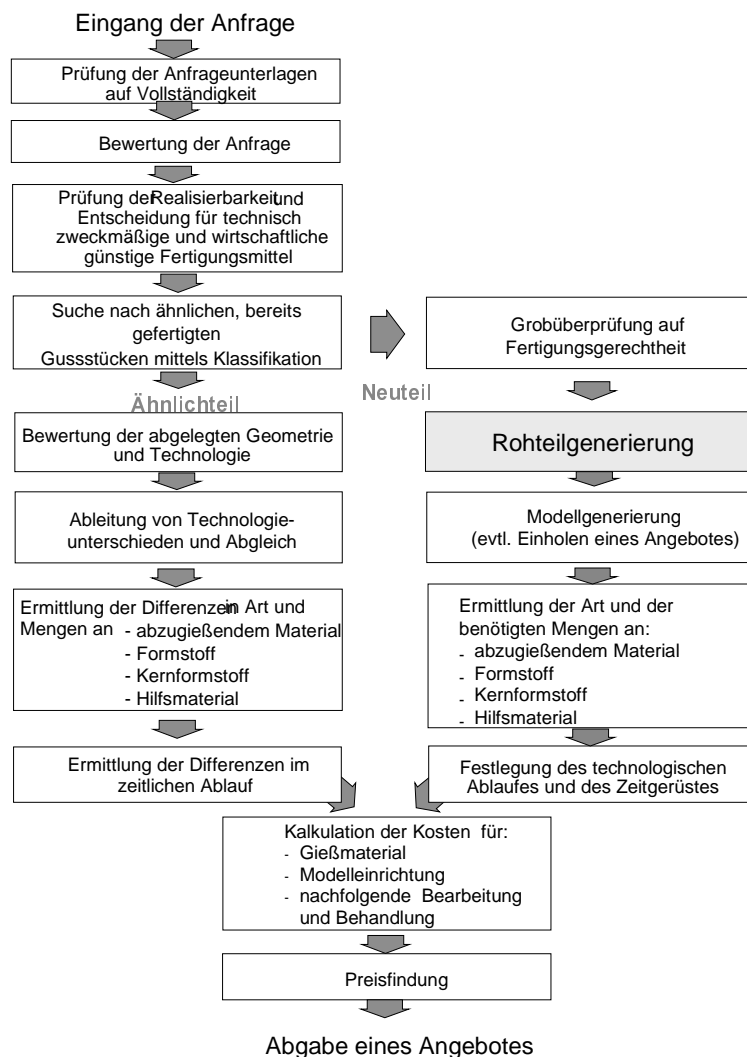
Über ausgewählte Aspekte der Rechnerunterstützung im Rahmen der Angebotsphase, wie Nutzung von Checklisten und Datenbanken zur

- Prüfung der Realisierbarkeit einer Anfrage [3] ,
- Ähnlichkeitsuche [4][5] bzw. zur
- Verwaltung von Daten und Steuerung von Abläufen und Informationsflüssen mittels eines Workflow Management Systems [6]

wurde in verschiedenen Publikationen bereits berichtet.

Der vorliegende Beitrag ordnet sich in dieses Aufgabenspektrum ein (**Bild 1**). Er beinhaltet grundlegende Überlegungen auf dem Weg zur Generierung einer Methode zur systematischen Ableitung der Rohteilparametern aus den Fertigteildaten. Diese Aufgabe stellt ein Grundanliegen der Arbeitsvorbereitung dar und setzt umfangreiche Kenntnisse über den unternehmensspezifischen Gussteilfertigungsprozess voraus. Besonderes Augenmerk gilt dabei den Formausrüstungen, da die Generierung einer technisch zweckmäßigen und wirtschaftlich vertretbaren Einformvariante einschließlich der zugehörigen Rohteilparameter für ein Gussteil auf den technischen und organisatorischen Besonderheiten einer jeden Form-

ausrüstung aufbaut. Anhand einer kastengebundenen sowie einer kastenlosen Formanlage wird exemplarisch versucht aufzuzeigen, wie die Merkmale der Ausrüstung die Rohteilgenerierung beeinflussen können. Dies bildet wiederum die Grundlage für die Umsetzung eines

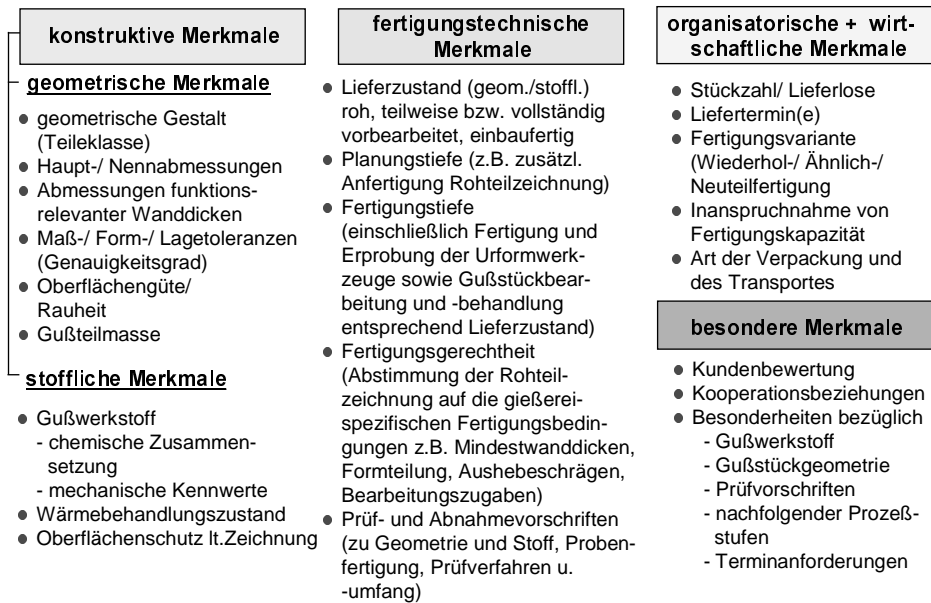


rechnergestützten Algorithmus.

**Bild 1:** Einordnung der Rohteilgenerierung in den Prozess der Angebotserarbeitung

### Prozess der Gussteilfertigung

Ausgangsbasis für die Gussteilfertigung bildet eine definierte Fertigungsaufgabe. Diese wird durch den Markt oder den Kunden in Form einer Anfrage bzw. einer Bestellung vorgegeben. Wesentliche Merkmale, welche die Fertigungsaufgabe enthalten sollte, sind im **Bild 2** aufgeführt. Nur auf der Basis einer vollständigen Merkmalsbeschreibung ist es der Gießerei möglich, die vom Kunden gewünschten Anforderungen an die Fertigungsgenauigkeit des Gussteiles zu gewährleisten. Nach [8] versteht man unter Fertigungsgenauigkeit den Grad der Übereinstimmung, der nach der Fertigung vorliegenden Parameter mit den geforderten technischen Parametern eines Bauteiles. Die Fertigungsgenauigkeit wird durch folgende Teilgenauigkeiten charakterisiert:



**Bild 2:** Merkmale von Fertigungsaufgaben der Gussstückfertigung [7]

### 1. Formgenauigkeit

Einhalten der zulässigen Grenzen der Gestaltabweichung der Flächenform (eben, zylindrisch, kegelig, gekrümmt, zusammengesetzt)

### 2. Maßgenauigkeit

Einhalten der zulässigen Grenzen der Abmessungsabweichungen der Flächenabmessungen (Länge, Breite, Höhe, Durchmesser, Dicke, Winkel, Steigung)

### 3. Lagegenauigkeit

Einhalten der zulässigen Grenzen der Lageabweichungen der Flächen zueinander (Parallelität, Winkligkeit, Achsengleichheit, Symmetrie, Schlag)

### 4. Oberflächengüte

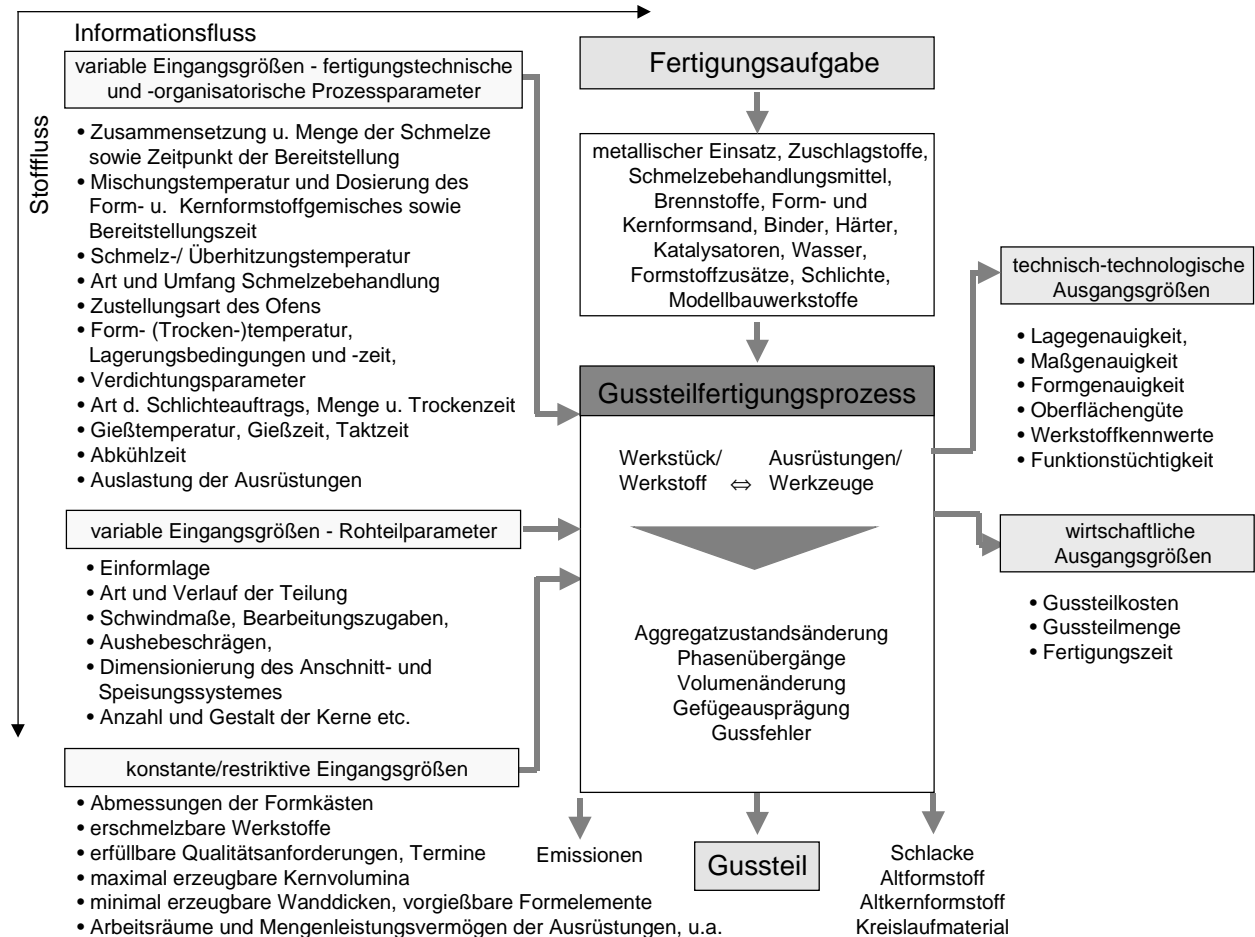
Einhalten der zulässigen Oberflächenrauheit

### 5. Qualität des Werkstoffzustandes und der Genauigkeit der Werkstoffkennwerte

Einhalten der zulässigen Grenzen der Werte des Werkstoffzustandes (chemische Zusammensetzung, Gefügeausbildung) und der Werkstoffkennwerte (Festigkeitswerte, Härte, Zähigkeit, Dehnung, Sprödigkeit, Abrieb, Spannungen).

Zur Umsetzung der Fertigungsaufgabe ist der Arbeitsvorbereiter gezwungen, sein Spezialwissen über die Gussteilfertigung in den Planungsprozess einzubringen. Das setzt die Kenntnis der vielzähligen Einflussparameter auf die Gefüge- und Gestaltbildung und die dabei ablaufenden Vorgänge, welche beispielsweise durch Volumenänderungen und Werkstoffumwandlungen gekennzeichnet sind, voraus (**Bild 3**). Der ablaufende Fertigungs-

prozess ist im Vorfeld möglichst detailliert zu durchdenken, um Abweichungen in Form von Gussfehlern weitestgehend zu vermeiden bzw. diese gezielt an solchen Gussteilpartien zu erzeugen, wo sie die Fertigungsgenauigkeit nicht negativ beeinflussen. So sollte Teilungsgrat auf notwendigerweise mechanisch zu bearbeitenden Flächen erzeugt bzw. Lunker in den Speiser verlegt werden.



**Bild 3:** Stark vereinfachte Darstellung der Zusammenhänge und Wechselwirkungen beim Gießen in verlorenen Formen

Zur Erzielung der gewünschten Fertigungsgenauigkeit besitzt der Arbeitsvorbereiter folgende Möglichkeiten:

1. Beeinflussung der Werkstoffeigenschaften durch spezifische Zusammensetzung des metallischen Einsatzmaterials, zweckmäßige Ofenzustellung, eine definierte Schmelz- und Wärmebehandlung u.a. sowie
2. Beeinflussung der Maß-, Form-, Lagegenauigkeit und Oberflächengüte durch zweckmäßige:
  - Positionierung des Gussteiles in der Form,
  - Formteilung,
  - Bearbeitungszugaben,

- Auszugsschrägen,
- Anschnitte, Filter, Kühlelemente, Verstärkungen und Speiser,
- Ballenausformung und Kerngestaltung,
- Transportelemente,
- Probenanordnung am Gussteil,
- Verbunde mit einzugießenden Bauelementen (z.B. Buchsen) sowie durch zweckmäßige
- Mindestwanddicken und Radien.

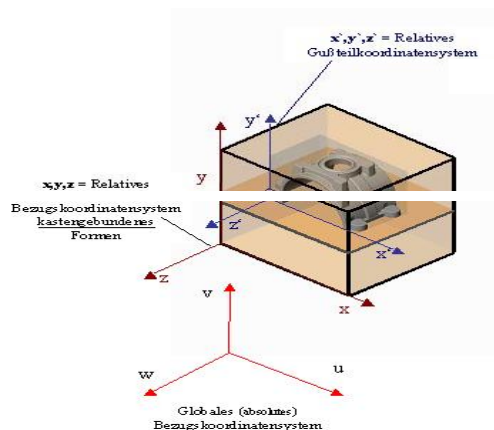
Der Vielgestaltigkeit der Rohteilparameter in Verbindung mit der Einformlage wird insbesondere durch den Gusswerkstoff und den Eigenheiten der zur Anwendung gelangenden Form- und Gießausrüstungen Grenzen gesetzt. Dies soll anhand einer vergleichenden Betrachtung zwischen dem

- maschinellen kastengebundenen Luftstrompressformverfahren (SEIATSU - Formanlage) und dem
- maschinellen kastenlosen Schießen und Hochdruckpressen (DISAMATIC – Formanlage).

belegt werden.

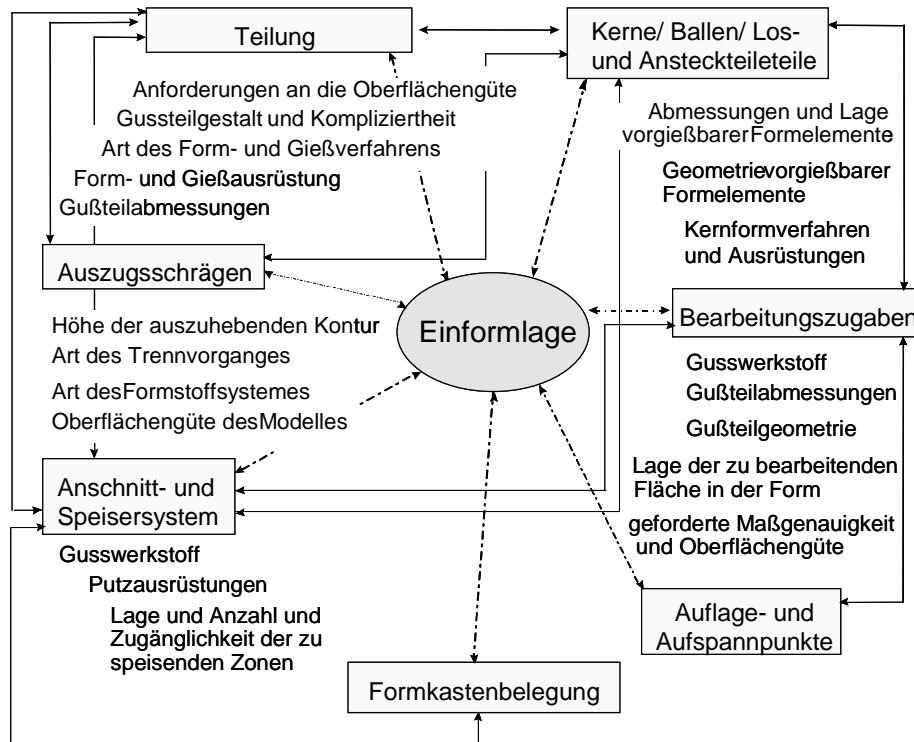
### Besonderheiten, Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen verschiedenen Formanlagen und deren Einfluss auf die Rohteilgenerierung

Basis für die Festlegung der einzelnen Rohteilparameter bildet die Einformlage, d.h. die Art der Positionierung des Gussteils bzw. Modells in der Form. Grundsätzlich kann bei einem dreidimensionalen Bauteil in Bezug auf ein kartesisches Koordinatensystem von 6 Einformlagen ausgegangen werden (**Bild 4**). Das bedeutet jedoch nicht, dass nicht noch weitere Einformlagen möglich sind (z. B. um die x-, y-, z-Achse geneigte Einformlagen).



**Bild 4** : Vereinheitlichung des Betrachterstandpunktes zur Festlegung der Einformlage

Die Einförmigkeit steht in enger Wechselbeziehung mit den verschiedenen Rohteilparametern (**Bild 5**). Eine Veränderung ihrerseits zieht in der Regel auch eine Veränderung der Rohteilparameter, wie z.B. der Anordnung der Auszugsschrägen nach sich. Zwischen den Rohteilparametern existieren ebenfalls Wechselwirkungen. So ist eine Änderung der Lage der Teilung häufig mit höherem oder geringerem Kernbedarf verbunden.



**Bild 5:** Einfluss der Einförmigkeit auf verschiedene Rohteilparameter sowie Wechselwirkungen zwischen denselben [9]

Die untersuchten Formanlagen unterschieden sich grundsätzlich in den, in **Tabelle 1** aufgeführten Merkmalen.

**Tabelle 1:** Ausrüstungsbezogene Unterschiede zwischen dem Formen auf einer DISAMATIC und einer SEIATSU-Formanlage (stark vereinfacht)

<b>Merkmale</b>	<b>Kastenlose Formanlage DISAMATIC Typ DMS 2110 LP</b>	<b>Kastengebundene Formanlage Seitsu Typ HSP 3</b>
Verdichtungsprinzip	Schießen, Hochdruckpressen	Luftstromverdichten, Pressen
Formkasten-/blockteilung	vertikal	horizontal
Entformungsrichtung	horizontal	vertikal
Kastenbindung	kastenlos (zwei mittels Modellplatten geformte Blöcke bilden eine Form)	kastengebunden (Ober- und Unterkasten)
produktive Vorgaben (Gießereispezifisch)	120 Formblöcke / h (DISAMATIC 2110 MK3)	90 Kasten / h
Formkasten-/blockhöhe	in Höhe variabel	konstant
Modellwerkstoff	Metall	Kunststoff/Metall, Modellplatten mit Schlitz versehen
Relativbewegungen der Modellplatten in Bezug auf Formhohlraum	geradlinige Bewegung zur Hohlraumausbildung und zum Herausziehen aus Formblock, anschließendes Schwenken der Platte	geradliniges Abheben der Formkastenhälfte von Modellplatte

Daraus resultierten die nachfolgend beschriebenen Besonderheiten in Bezug auf eine zweckmäßige Einformlage und Rohteilgestalt.

#### *Einformen von Gussteilpartien mit hoher Abbildungsgenauigkeit*

Die kastengebundene SEIATSU-Formanlage verfügt über eine horizontale Kastenteilung (siehe auch **Bild 4**). Flächen mit der Forderung nach hoher Abbildungsgenauigkeit<sup>1</sup>, d.h. ohne Versatz und mit engen Toleranzen sind demzufolge möglichst parallel zur Formteilung und zwar unten oder oben anzuordnen. Ist eine spätere mechanische Bearbeitung unzulässig, ist die jeweilige Gussteilpartie prinzipiell unten einzufüllen. Grund dafür ist, dass sich beim Schwerkraftguss im oberen Bereich des Gussteiles stets Verunreinigungen, Schlacke u.ä. ansammeln.

Die DISAMATIC-Formanlage weist hingegen eine vertikale Formblockteilung auf, d.h. Flächen mit hoher Abbildungsgenauigkeit sind parallel zur Formblockteilung und zwar in diesem Fall seitlich einzufüllen. Hinzu kommt, dass Gussteilpartien, die durch die Schwenkplattenseite abgeformt werden, ausrüstungsbedingt höhere Abbildungsgenauigkeiten aufweisen, als Gussteilkonturen die durch die Pressplattenseite ausgeformt werden. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass beim Vorwärtstransport der Formen [6] durch die Pressplattenseite eine mögliche Druckdeformierung am Formblock auftreten kann. Gussteilpartien mit hoher Abbildungsgenauigkeit sind demzufolge primär auf der Schwenkplattenseite des Formblockes zu positionieren (siehe auch **Tabelle 2**).

**Tabelle 2:** Unterschiede zwischen dem Formen auf einer DISAMATIC und einer SEIATSU-Formanlage (stark vereinfacht) in Bezug auf die Abbildungsgenauigkeit und einzuhaltende Mindeststrandabstände

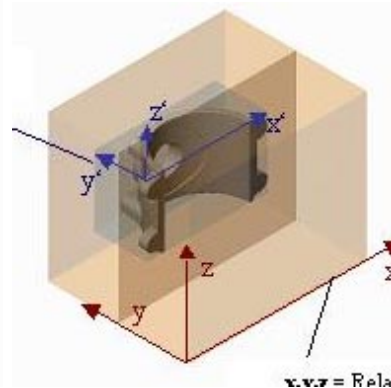
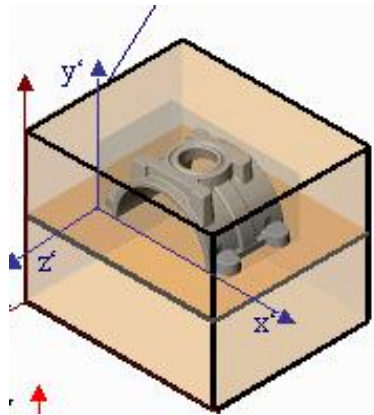
<b>Merkmale</b>	<b>Kastenlose Formanlage DISAMATIC Typ DMS 2110 LP</b>	<b>Kastengebundene Formanlage Seitsu Typ HSP 3</b>
Anordnung von Gussteilpartien mit hoher Abbildungsgenauigkeit	auf Schwenkplattenseite, parallel zur Formteilungsebene	im Unterkasten, parallel zur Formteilungsebene
Lageverteilung der Hohlräume in der Form	neben- und übereinander Verwendung von Trennkernen ist möglich	im Normalfall nebeneinander, bei Verwendung von Trennkernen übereinander
Mindeststrandabstände (Formfläche)	seitlich, oben und unten verschiedenen [6]	seitlich, oben und unten konstant [7]
Flächenausnutzung	maximal 60 % [6]	maximal 86% [9]

Um die entsprechend gestellten Anforderungen zu erfüllen ist somit ausrüstungsbezogen von zwei verschiedenen Einformpositionen auszugehen (**Bild 6**).

<sup>1</sup> Unter Abbildungsgenauigkeit versteht man die Gewährleistung der Form-, Maß- und Lagegenauigkeit einer Gussteilpartie bezogen auf vorgegebene Forderungen.



links ganze  
Form um 180°  
drehen-keine  
Koordinaten  
auch rechts



Bilder ändern!!!

**Bild 6:** Anordnung von Gussteilpartien mit hohen Anforderungen an die Abbildungsgenauigkeit  
a) Seitsu-Formanlage  
b) Disamatic-Formanlage

### *Lageverteilung der Hohlräume in der Form*

Resultierend aus den verschiedenen Entformungsrichtungen folgt bei Mehrfachbelegung eine unterschiedliche Anordnung der Gussteile in der Form. Während die Formhohlräume beim betrachteten kastengebundenen Verfahren in der Regel nebeneinander<sup>2</sup> angeordnet werden, erfolgt die Verteilung der Hohlräume im Formblock sowohl nebeneinander als auch mehrfach übereinander.

### *Mindestrandabstände*

Den Abmessungen der auszuformenden Hohlräume sind bedingt durch die Abmessungen der Formkästen bzw. bei der DISAMATIC-Formanlage durch die Abmessungen der Modellplatten und den Schwenkbereich der Schwenkplatte mit Modell unter Berücksichtigung minimal auszuformender Formstoffwände Grenzen gesetzt.

Mindestdicken von Formstoffwänden sind aus Stabilitäts- und thermischen Gründen zwischen Modell und Formkastenwand bzw. zwischen zwei Modellen bei kastengebundenen sowie zwischen den höchsten Punkten der Modellplatten auf der Schwenk- und Pressplattenseite bei der kastenlosen Formanlage einzuhalten. Während bei der betrachteten kastengebundenen Formanlage von einem einheitlichen Mindestrandabstand in Abhängigkeit von der Modellhöhe nach allen Seiten in der Form ausgegangen wird [7], ist bei der DISAMATIC-Formanlage eine Differenzierung in obere, untere und seitliche Mindestrandabstände erforderlich [6]. Der Randabstand nach oben ist dabei am größten zu dimensionieren, da hier das Anschnittsystem anzuordnen ist. In der Regel wird von einem konstanten Flächenbedarf für den Einguss ausgegangen.

<sup>2</sup> Wenn das Modell aufgrund seiner Gestalt ausschließlich im Unterkasten eingeformt werden kann ist es mittels Trennkernen ebenfalls möglich, die Hohlräume sowohl neben- als auch untereinander anzuordnen.

### *Flächen- und volumenmäßige Auslastung der Form*

Untersuchungen in [9] belegen, dass beim Einsatz von Formkästen, als wesentlichem Stabilitätsfaktor bei gleicher Abmessung der Form größere Gussteile bzw. eine größere Zahl an Gussteilen herstellbar ist als beim kastenlosen Formen. Die verfügbare Fläche ist beim kastengebundenen Formen demzufolge effizienter auslastbar. Der Grenzwert der Flächenauslastung<sup>3</sup> für das kastenlose Formen liegt nach [6] bei 60%, für das kastengebundenen Formen hingegen bei 86 % [9]. Im Gegensatz dazu weist die kastenlose Anlage jedoch eine höhere Taktzeit auf.

### *Anschnitte und Speiser*

Die unterschiedliche Anordnung der Formhohlräume in Verbindung mit den differenzierten Entformungsrichtungen hat verständlicherweise unterschiedliche Gießsysteme zur Folge (siehe **Tabelle 3**).

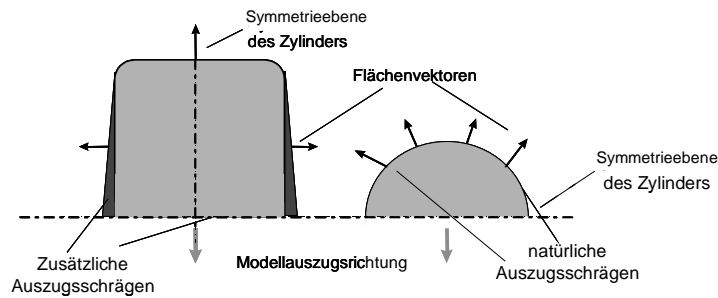
Bei beiden Formanlagen steht eine gute Entformbarkeit der Anschnitt- und Speiserelemente im Vordergrund, d.h. zweckmäßiger Weise ist das Gießsystem in der Formteilungsebene zu platzieren. Während bei der Seiatsu-Formanlage das Gussteil nur in der Formteilungsebene angeschnitten werden kann ist bei der kastenlosen Formanlage aufgrund der vertikalen Formteilung jede beliebige Ebene des Gussteiles anschneidbar bzw. es können mehrere übereinander angeordnete Gussteile angeschnitten werden. D.h. während bei der SEIATSU-Formanlage in der Regel eine Kombination aus fallender und steigender Gießweise vorliegt, ist das Gießen auf der DISAMATIC häufig durch eine fallende Gießweise geprägt.

Vergleicht man die Lage der zum Anschnittsystem gehörenden Elemente untereinander, so kann festgestellt werden, dass diese beim DISAMATIC –Formverfahren vollständig in selbiger ausformbar sein müssen. Bei den kastengebunden Formverfahren hingegen stehen der EIngusstümpel bzw. -trichter sowie der Einlauf senkrecht auf der Formteilungsebene. Da der entsprechende Einguss bzw. Trichter beim SEIATSU - Formverfahren nicht automatisch entformbar ist, wird er in der Regel nachträglich mittels eines Sandbohrers eingebracht.

In Bezug auf die Speisung wird bei beiden Formanlagen angestrebt, standardisierte Speiser einzusetzen. Dafür stehen überwiegend Zylinder- und Kugelspeiser zur Verfügung. Diese sind nach den Gesetzmäßigkeiten der gerichteten Erstarrung beim Ausformen auf der DISAMATIC-Formanlage so anzuordnen, dass sie mit ihrer Symmetrieebene in der Formteilungsebene liegen, wobei die natürlichen Auszugsschrägen der sphärischen Speiserkonturen zum Entformen genutzt werden (**Bild 7**).

---

<sup>3</sup> Die Flächenauslastung wird dabei definiert als das Verhältnis der genutzten Fläche (projizierte Fläche des Formhohlraumes mit Anschnitt- und Speisesystem, Ballen, Kernmarken) zur Gesamtfläche der Form bzw. des Ballens



**Bild 7:** Einfluss der Kontur eines zylindrischen Speisers auf die Auszugsschrägen in Abhängigkeit von der Modellauszugsrichtung

**Tabelle 3:** Unterschiede zwischen dem Formen auf einer DISAMATIC und einer SEIATSU-Formanlage (stark vereinfacht) in Bezug auf das Gießsystem

<b>Merkmale</b>	<b>Kastenlose Formanlage DISAMATIC Typ DMS 2110 LP</b>	<b>Kastengebundene Formanlage Seitsu Typ HSP 3</b>
<b>charakteristische Gießweise</b>	fallend bzw. kombiniert	überwiegend kombiniert bei kompletter Positionierung des Gussteils in einem Formkasten steigende oder fallende Gießweise realisierbar
<b>Anschnitte</b>		
Lage des Ein- und Zulaufes sowie der Querläufe	in Formteilungsebene	in der Formteilungsebene und senkrecht dazu
Höhenlage der Zuläufe	variabel Zuläufe können in Abhängigkeit von der Plattenbelegung in unterschiedlichen Höhenlagen liegen.	konstant Zuläufe liegen unmittelbar auf der Teilung.
<b>Speisung und Kühlung</b>		
Positionierung der Speiser	eingeschränkt Lage in Formteilungsebene, unter der Bedingung, dass Speisergeometrie über natürliche Auszugsschrägen verfügt	uneingeschränkt Lage in Formteilungsebene siehe DISAMATIC, senkrecht zur Teilungsebene Einförmigen von gegenkonischen Speisereinsätzen durch Aufstecken auf Dorn am Modell möglich
Speiserarten	geschlossene Speiser Heizspeiser, standardisiert	geschlossene Speiser, Heizspeiser, standardisiert
Speisergeometrien	Zylinder- und Kugelspeiser [6] Eingussfilterspeisern	Einsatz aller geschlossenen standardisierten Speisergeometrien
Anwendung von Naturspeisern	eingeschränkt Bedingung siehe standardisierte Speiser	uneingeschränkt alle Formen als auf- oder/und ange-setzte Blindspeiser
Möglichkeiten der Einformung von Kühlelementen	nach Herstellung der Form über Kerneinleger in Verbindung mit dem Einlegen von Kernen möglich	entweder vor der Formherstellung über das Modell mittels Dorn (aufgrund der Gegenkonizität bleiben die Kühlelemente beim Abheben der Modellplatte in der Form stecken) bzw. Bestückung auf der Kerneinlegestrecke nach dem Formen möglich

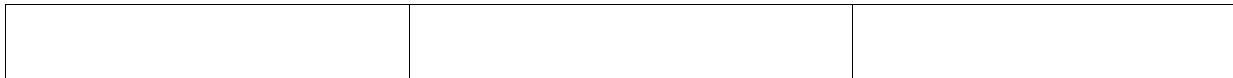
Aus Platzgründen wird in der Regel auf standardisierte Heizspeiser zurückgegriffen die in die vorgeformten Hohlräume eingelegt werden. Bei der SEIATSU-Formanlage können diese in Abhängigkeit von der Anordnung am Gussteil entweder direkt in der Teilungsebene bzw. senkrecht zu dieser durch Aufstecken auf einen Modelldorn eingeformt werden. Aufgrund der Gegenkonizität bleiben die Heizspeiser nach dem Abheben der Modellplatte in der Form stecken. Als Zeitraum zum Aufstecken der Speiser auf die Dorne wird der Modellplattenwechsel für Ober- und Unterkasten genutzt. Diese werden auf der Seiatsu-Formanlage abwechselnd abgeformt. Bei der DISAMATIC-Formanlage sind, bedingt durch das Verfahrensprinzip, beide Modellplatten ständig im Einsatz, so dass letztere Möglichkeit der Speisungsanordnung hierfür nicht in Frage kommt.

Ist zur Speisung einer bestimmten Gussteilpartie kein Standardspeiser verfügbar, der Platzbedarf jedoch ausreichend und die Ausformbarkeit gegeben, kann bei beiden Formanlagen auch auf geschlossene Naturspeiser, die direkt mit dem Modell auszuformen sind, zurückgegriffen werden [6].

Zur Erzielung einer hohen Speiserwirksamkeit wird bei beiden Formverfahren stets versucht, die Speiser so zu legen, dass diese angeschnitten werden können.

**Bild 8 und Tabelle 4** beinhalten ergänzend zu den durchgeführten Betrachtungen eine Systematisierung und Zuordnung möglicher Speisergeometrien zu den Formanlagen.

 <p>Kugelspeiser</p>	 <p>Fassonspeiser</p>	 <p>Connorspeiser</p>
 <p>Zylinderspeiser</p> 	 <p>Kegelspeiser</p>	<p>Filterspeiser</p>  <p>(Speisereingussverfahren)</p>
 <p>Ovalspeiser</p>	 <p>Minispeiser</p>	



**Bild 8** : Systematik angewandter Speisertypen

**Tabelle 4:** Angewandte Speiserarten, unterteilt nach der Geometrie, in Abhängigkeit vom Formverfahren

Formanlage	Speiserarten							
	Kugelspeiser	Zylinder- speiser	Ovalspeiser	Kegelspeiser	Minispeiser	Connor- speiser	Filterspeiser	
kastengebundenen Formen (SEIATSU)	1	1	1	1	1	1*	1	
kastengebundenen Formen (DISAMATIC)	1	1	0	0	0	1**	1	

Legende :

0 – Kein Zusammenhang

1 – Zusammenhang

\* - Positionierung unmittelbar auf der Formteilung durch Kerneinleger möglich

\*\* - vollständige Anordnung des Gussteils in einer Formkasten-/ Formblockhälfte

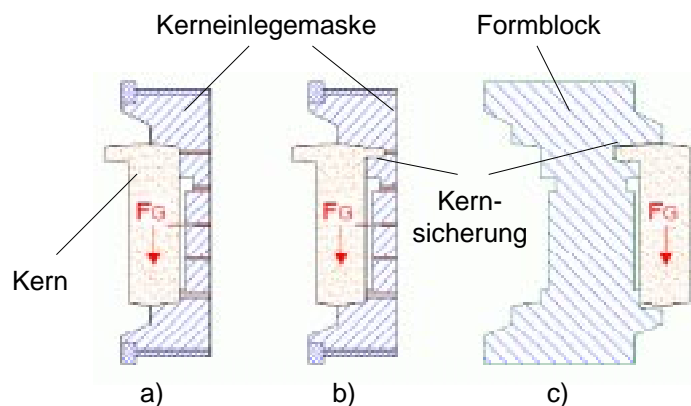
Die Ausformung komplizierter Außen- und Innenkonturen mittels Kernen stellt ein weiteres restriktives Rohteilkriterium dar (siehe **Tabelle 5**). So werden die Abmessungen der Kerne beim kastengebundenen Formen mit horizontaler Formteilung lediglich begrenzt durch einzuhaltende Mindestrandabstände zwischen der Kernmarke und dem benachbarten Formhohlraum bzw. der Formkastenwand. Die Kerne können dabei im Unterkasten liegend oder stehend platziert werden. Eine Kernsicherung ist in der Regel nicht erforderlich.

**Tabelle 5:** Unterschiede zwischen dem Formen auf einer DISAMATIC und einer SEIATSU-Formanlage (stark vereinfacht) in Bezug auf Formballen, Kerne und Formschrägen

Merkmale	Kastenlose Formanlage DISAMATIC Typ DMS 2110 LP	Kastengebundene Formanlage Seitsu Typ HSP 3
<b>Formballen – Ausformung</b>	seitlich hängend (Restriktionen in Bezug auf Kippmoment: Abmessungen und Eigengewicht)	stehend im Unterkasten hängend im Oberkasten (Restriktionen: Abmessungen und Eigengewicht des Ballens beim Wenden des Oberkastens)
<b>Kerne</b>		
Restriktionen für die Anwendung von Kernen	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Formblockabmessungen und einzuhaltende Randabstände,</li> <li>2. verfügbarer Platz für Kernlagerung</li> <li>3. Kerngeometrie bezogen auf eine stabile Kernlagerung und –sicherung.</li> <li>4. Kerngewicht (max. 35 kg [6])</li> <li>5. Kernlänge bezogen auf die Abmessungen d. Kerneinlegers</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Formkastenabmessungen und einzuhaltende Randabstände,</li> <li>2. verfügbarer Platz für Kernlagerung</li> <li>3. Kerngeometrie bezogen auf eine stabile Kernlagerung und –sicherung.</li> </ol>

Kernpakete	Einsatz möglich [6]	Einsatz möglich
Charakteristische Kernposition nach dem Einlegen	stehend oder liegend in der Formblockhälfte Kernsicherung ist zur Lagesicherung <u>immer</u> notwendig	Liegend oder stehend in der unteren Formhälfte Kernsicherung ist <u>nicht immer</u> notwendig
<b>Formschräge</b>	Verfahrensspezifisch Auswahl in Abhängigkeit von der Modellhöhe und der Lage der Kontur 0,33°-12°[6]	verfahrensspezifisch empfohlener Wert 0,5°

Betrachtet man hingegen die Situation bei der Kernlagerung in einem vertikal geteilten Formblock bzw. in der Kerneinlegemaske, so wird deutlich, dass aufgrund des wirkenden Kippmomentes in jedem Fall eine Kernsicherung erforderlich ist (**Bild 9**).



**Bild 9** : Lagerungssituation von Kernen bei offener Form mit horizontaler Entformungsrichtung

- a) Kernlager ohne Sicherung in der Kerneinlegemaske
  - b) Kernlager mit Sicherung in der Kerneinlegemaske
  - c) Kernlager mit Sicherung im Formblock
- $F_G$  – Wirkungsrichtung der Gewichtskraft

Beeinflusst wird das Kippmoment durch die Abmessungen und das Gewicht des Kerns (Kernpaketes). Beiden Parametern sind bei der Disamatic-Formanlage Grenzen gesetzt. Ähnlich verhält es sich auch mit den Abmessungen auszuformender Ballen.

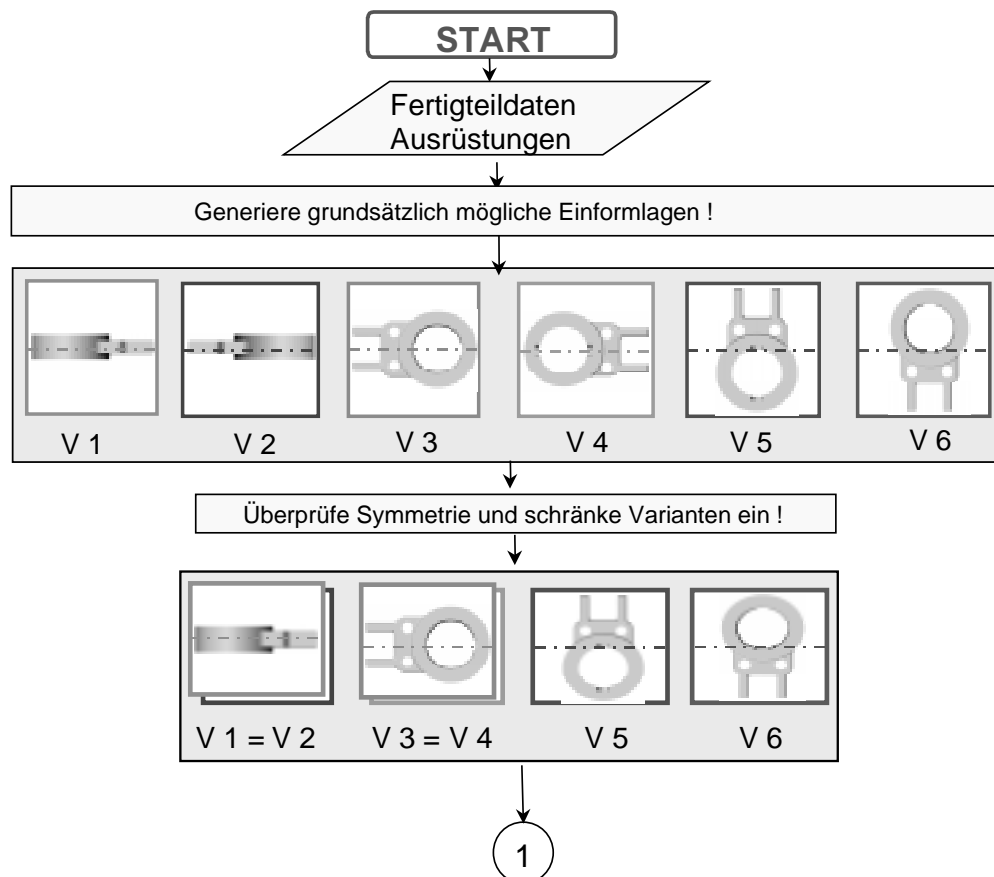
### Formschrägen

Die Größe der Formschrägen wird im wesentlichen beeinflusst durch die Oberflächenbeschaffenheit des Modells sowie die Führungsgenauigkeit der Modellplatten auf der Formmaschine beim Abheben. Während auf der SEIATSU-Formanlage in der Regel Kunststoff- bzw. Metallmodelle eingesetzt werden, nutzt man beim DISAMATIC-Formverfahren ausschließlich Modellplatten aus Metall. Nach [7] wird für Modellkonturen in Entformungsrichtung auf der betrachteten SEIATSU - Formanlage grundsätzlich eine Formschräge von 0,5° empfohlen. In [10] werden für eine ähnliche Formanlage hingegen Formschrägen von 0,12° für Außen- und 0,15° für Innenkonturen beschrieben.

Bei der DISAMATIC erfolgt die Festlegung der Formschrägen basierend auf der Modellhöhe und der Lage der Kontur (innen, außen) am Gussteil. Während Schrägen an Außenkonturen zwischen  $0,33^\circ$  und  $12^\circ$  differieren, beginnen diese bei Innenkonturen bei einem Wert von  $1,5^\circ$ . Konturen auf der Schwenkplattenseite erfordern nach [6] oft eine geringere Auszugschräge.

Anhand dieser vereinfachten Gegenüberstellung wird deutlich, dass wesentliche Unterschiede bezüglich der Rohteilgenerierung und der Plattenbelegung zwischen kastenlosen- und kastengebundenen Formanlagen existieren. Ausgehend von einer definierten Einformlage gelangt man bei Anwendung unterschiedlicher Formanlagen zu differenzierten Rohteilen.

An der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg wird derzeit an einem Algorithmus zur rechen-technischen Unterstützung der Rohteilgenerierung, basierend auf den CAD-Daten des Fertigteil es gearbeitet (**Bild 10**). Dieser ist der Herangehensweise des Arbeitsvorbereiters bei der Ableitung der Einformlage und der Rohteilparameter nachempfunden und zielt auf eine systematische Bearbeitung dieser Aufgabe ab.



**Bild 10:** Auszug aus dem Algorithmus zur Generierung der Rohteil-daten – Teilschritte: Generierung grundsätzlicher Einformlagen und Varianteneinschränkung aufgrund möglicher Symmetrien

Unterstützt werden die einzelnen Schritte durch Checklisten. Im **Bild 11** ist exemplarisch eine Checkliste zur Unterstützung der Anordnung und Auswahl von Speisern, Verstärkungen und Kühlelementen dargestellt. Bei positiver Beantwortung der, in der Checkliste zur Speisung der/des Gussteile/s aufgeführten Fragen erfolgt die Dimensionierung der Speiser, Kühlelemente und Keilverstärkungen. Die dazu benötigten Formeln (Modul, Sättigungsweite) können entsprechend im Algorithmus hinterlegt werden.

Checkliste zur Speisung		
1. Gusswerkstoff, Wanddicken und Querschnittsübergänge erfordern Speisung?	<input checked="" type="radio"/> ja	<input type="radio"/> nein
2. Anzahl der Wärmezentren erfordert mehr als einen Speiser?	<input type="radio"/> ja	<input checked="" type="radio"/> nein
3. Zugänglichkeit der Wärmezentren gegeben?	<input checked="" type="radio"/> ja	<input type="radio"/> nein
4. Platzbedarf zur Speiseranordnung ausreichend?	<input checked="" type="radio"/> ja	<input type="radio"/> nein
5. Bearbeitung der Fläche auf/an welcher Speiser erforderlich - ist zulässig?	<input checked="" type="radio"/> ja	<input type="radio"/> nein
6. Platzbedarf für Kühlelemente gegeben?	<input checked="" type="radio"/> ja	<input type="radio"/> nein
7. Anbringen von Keilverstärkungen möglich?	<input checked="" type="radio"/> ja	<input type="radio"/> nein
8. Einbringen von Kühlbohrungen erlaubt?	<input checked="" type="radio"/> ja	<input type="radio"/> nein

**Bild 11:** Checkliste zur Speisung

Die Art der in Frage kommenden Speiser kann für das jeweilige Formverfahren aus einer Matrix entnommen werden. Diese Matrix kann jedoch nur aufgebaut werden, wenn die Eigenheiten der Formanlagen erfasst worden sind.

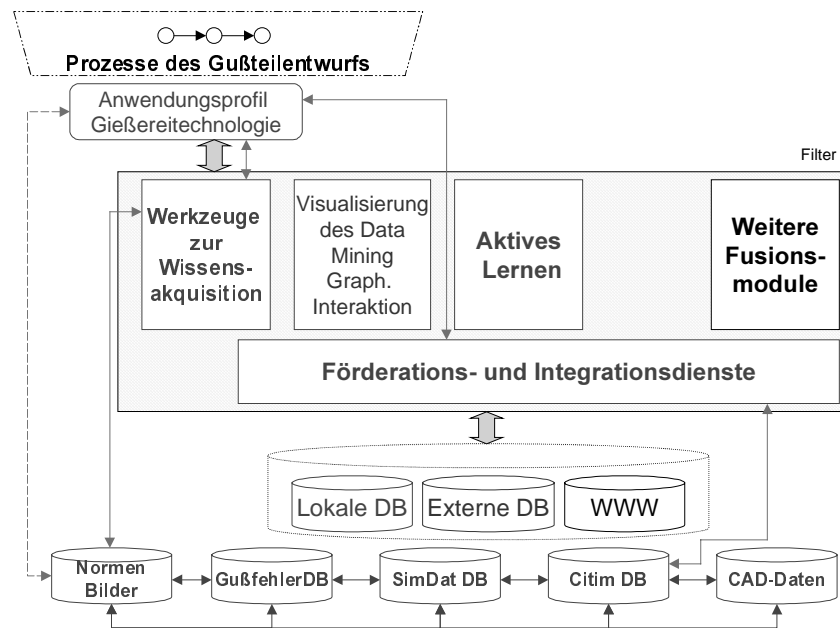
Es wird deutlich, dass der in Auszügen beschriebene Algorithmus nur zweckmäßig eingesetzt werden kann, wenn er die unternehmensspezifischen Eigenheiten eines jeden verfügbaren Form- und Gießverfahrens enthält. Dies ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn eine Gießerei über eine Vielzahl unterschiedlicher Ausrüstungen verfügt.

### Informationsfusion – Basis für die Bereitstellung komplexen Wissens

Das notwendige Know how, welches zur Rohteilgenerierung erforderlich ist, wird von den Unternehmen in der Regel geschützt. Unabhängig davon entstanden in den vergangenen Jahren verschiedene heterogene, aufgabenspezifische Datenbanken zur Unterstützung dieser und anderer Aufgaben der Arbeitsvorbereitung mit aufbereitetem Erfahrungswissen aus Fachpublikationen und Normen. Die in den einzelnen Datensammlungen enthaltenen Informationen unterscheiden sich jedoch teilweise stark voneinander. Dies betrifft einerseits die Vollständigkeit der jeweiligen Daten und andererseits auch die eventuell auftretenden Redundanzen. So kann der Fall eintreten, daß eine Datenbank nicht alle zur Entscheidungsfindung benötigten Informationen enthält und der Bearbeiter auf weitere Hilfsmittel zugreifen muss. Um möglichst kurzfristig alle Informationen zur Lösung einer Aufgabe bereitzustellen, ist es oftmals erforderlich auf verschiedene spezifische Datenbanken

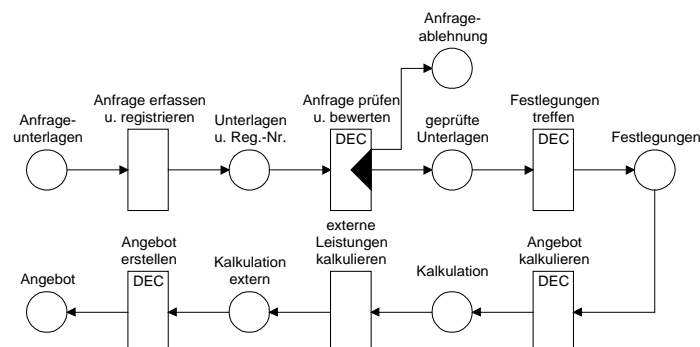


zuzugreifen. An der Unterstützung dieser Vorgehensweise arbeitet die DFG-Forschergruppe „Workbench für die Informationsfusion“. Diese verfolgt mittels der Schaffung einer Workbench das Ziel, aus den, in verschiedenen Datensammlungen heterogen vorliegenden Informationen *Wissen* in einer neuen Qualität bereitzustellen. **Bild 12** verdeutlicht die Zusammenhänge zwischen den Teilprojekten der Forschergruppe und dem Anwendungsprofil. Die Workbench dient als eine Art „Filter“, welcher mit Hilfe von rechentechnischen Mitteln und Methoden die notwendigen Informationen in einem ausgewählten Spektrum an Datenbanken sucht und aufbereitet.



**Bild 12:** Workbench für die Informationsfusion

Die bisherigen Untersuchungen konzentrierten sich auf die Angebotserstellung. Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen wurde ein realisierbares Vorgehensmodell erarbeitet (**Bild 13**), welches die identifizierten Referenzprozesse zur Angebotserarbeitung enthält.

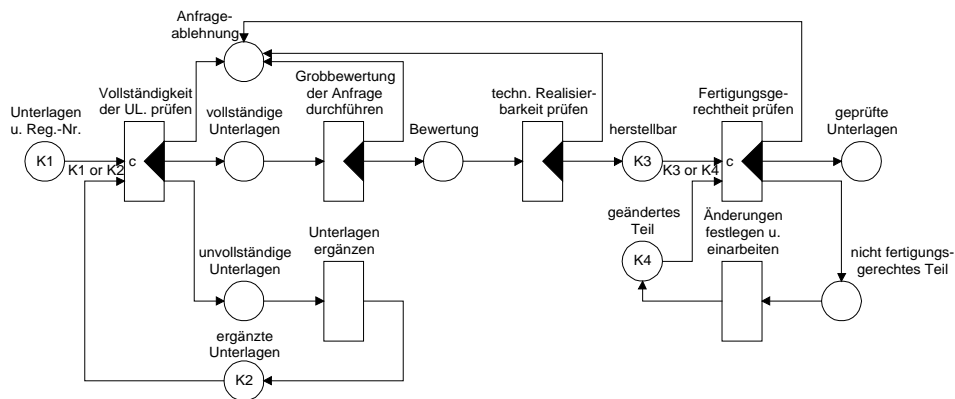


**Bild 13:** Referenzprozesse zur Angebotserarbeitung in Gießereien (FunSoft-Netz)

Hierzu wurden bereits einzelne Hilfsmittel rechentechnisch umgesetzt, so dass eine computergestützte Abarbeitung möglich ist. Das Ziel der Untersuchungen besteht in der Schaffung einer durchgängigen Lösung zur Unterstützung der Arbeitsvorbereitung. Um dies zu errei-

chen wird einerseits eine Steuerung für die auszuführenden Prozessschritte und andererseits die übergreifende Nutzung der moderner Methoden und Konzepte der Informationstechnik (Workbench) vorgeschlagen.

Die Angebotserarbeitung beginnt mit der Registrierung der Anfrage. Dazu werden dem mitgelieferten Schreiben und der Zeichnung verschiedene Informationen entnommen, wie beispielsweise Abmessungen, Gusswerkstoff, Benennung, Zeichnungsnummer, Stückzahl, Lieferdatum usw.. Im Ergebnis des ersten Schrittes erhält die Anfrage eine eindeutige Registrierungsnummer. Anschließend wird die Anfrage bezüglich verschiedener Merkmale geprüft und bewertet (**Bild 14**).



**Bild 14:** Anfrage prüfen und bewerten (FunSoft-Netz)

Zur Prüfung auf Vollständigkeit wird eine Checkliste eingesetzt, die im Ergebnis eine Liste mit den fehlenden Angaben liefert. Weiterhin wird berücksichtigt, ob fehlende Angaben als zwingend erforderlich (z.B. Gußwerkstoff, Geometrie) oder als optional vorgebar (Angaben zur Verpackung) eingeschätzt werden. In einem weiteren Prozessschritt erfolgt eine Grobbeurteilung der Anfrage. Hierbei wurden Regeln in Form von Entscheidungstabellen aufgestellt, die das zur Bewertung benötigte Expertenwissen beinhalten. Die hierzu genutzte Checkliste enthält verschiedene Kriterien (grundlegend, technisch und wirtschaftlich). In Abhängigkeit von den hinterlegten Regeln erfolgt die Auswertung der Checkliste, die als Ergebnis Vorschläge für die weitere Vorgehensweise liefert. Beispielsweise ob die Anfrage abgelehnt, ein Alternativ-Angebot genutzt oder das Management einbezogen wird. Im folgenden Beispiel sind zwei Bedingungen beschrieben, zum einen muss ein Gußteil *technisch realisierbar sein* und zum anderen darf es sich nicht um eine *erkennbare Vergleichsanfrage* des Kunden handeln. In Abhängigkeit von der Kombination der Regeln (bzw. Bedingungsanzeiger) kann eine Schnellkalkulation oder Normalkalkulation durchgeführt, ein Alternativangebot abgegeben oder die Anfrage auch abgelehnt werden (**Tabelle 6**). In der Tabelle wird „J“ eingetragen, wenn die Bedingung erfüllt ist, „N“ wenn die Bedingung nicht erfüllt ist und „X“ wenn eine Aktion des Aktionsteils ausgeführt wird.

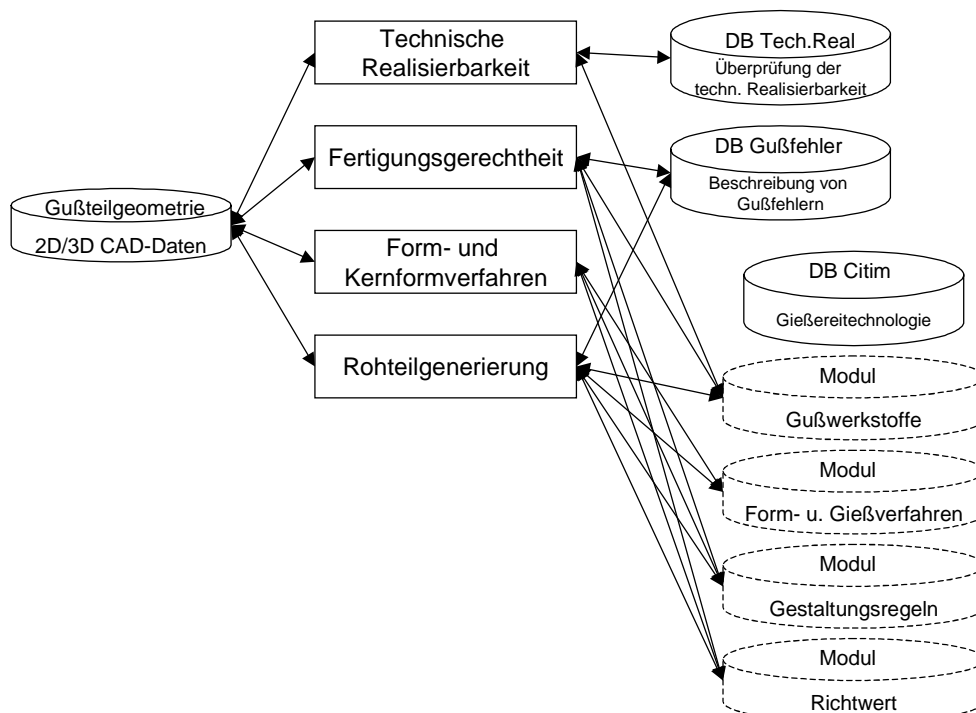
**Tabelle 6:** Beispiel für eine Entscheidungstabelle

		R1	R2	R3	R4
<b>B1</b>	<b>Gussteil ist technisch realisierbar</b>	<b>J</b>	<b>N</b>	<b>J</b>	<b>N</b>
<b>B2</b>	<b>erkennbare Vergleichsanfrage</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>N</b>	<b>N</b>
<b>A1</b>	<b>Schnellkalkulation</b>	<b>X</b>			
<b>A2</b>	<b>Normalkalkulation</b>			<b>X</b>	
<b>A3</b>	<b>Alternativangebot</b>				<b>X</b>
<b>A4</b>	<b>Ablehnung</b>		<b>X</b>		

Bi – Bedingung    Ai – Aktion    Ri - Regel

Zur Prüfung der Realisierbarkeit wird eine Datenbankanwendung eingesetzt. Hierbei werden verschiedene Eingabedaten (z.B. Gusswerkstoff, Gewicht, Maßgenauigkeit, usw.) genutzt, um die in der Gießerei vorhandenen Ausrüstungen im Hinblick auf ihre Eignung zur Fertigung des angefragten Gussstückes zu untersuchen.

Im Ergebnis erhält der Arbeitsvorbereiter eine Auflistung der einsetzbaren Ausrüstungen (z.B. Schmelzofen, Formanlage usw.) bzw. einen Negativbescheid. Einen weiteren wichtigen Aspekt verkörpert die Überprüfung der Fertigungsgerechtigkeit. Hierbei werden Mindestwanddicken, Masseanhäufungen usw. überprüft, um die fertigungsgerechte Gestaltung des Gußstückes zu gewährleisten. Zur Unterstützung dieser Aufgabe, aber auch zur *Suche nach ähnlichen Teilen und zur Rohteilgenerierung* ist im Rahmen der weiteren Untersuchungen der DFG-Forschergruppe im Hinblick auf die Schaffung einer Workbench die Nutzung folgenden Datenbanken (**Bild 15**) vorgesehen .



**Bild 15:** Zur Angebotserarbeitung genutzte Datenbanken

Hierbei ist ersichtlich, dass die auszuführenden Prozessschritte jeweils auf verschiedene Datenbanken zugreifen. Beispielsweise wird bei der Überprüfung der Fertigungsgerechtigkeit auf die Datenbanken DB-Gussfehler, DB-CITIM Gusswerkstoffe, DB-CITIM Gestaltungsre-

geln und DB-CITIM Richtwerte zugegriffen. Die dort enthaltenen Daten werden durch die Methoden und Techniken (bereitgestellt durch die Workbench) gefiltert und in einer neuen Qualität bereitgestellt. Das Projekt „Wissensakquisition“ arbeitet ergänzend daran, weitestgehend automatisch aus gießereispezifischen Texten (z.B. Literaturdatenbanken) zweckmäßige Informationen zu entnehmen, um diese beim Gussteilentwurf bzw. bei der Rohteilgenerierung zu nutzen.

Die Workbench stellt einen ersten Schritt in Richtung der Schaffung eines durchgängig beratenden Systems für den Arbeitsvorbereiter und den Gussteilkonstrukteur dar.

## **Zusammenfassung**

Aufgabe der gießereitechnischen Rohteilgenerierung ist es, die Voraussetzungen für die nachfolgende umformende und/oder spanende Bearbeitung bzw. einsatzfähige Einzelteile zu schaffen. An den Arbeitsvorbereiter wird demzufolge die Anforderung gestellt unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit, das Gussteil so zu gestalten, dass Fehler und Abweichungen, bedingt durch die Fertigung vermieden bzw. auf ein Minimum reduziert werden, da sie die nachfolgenden Prozessstufen und damit die Fertigungsgenauigkeit des Einzelteiles entscheidend beeinflussen können.

Die Generierung der technischen und wirtschaftlichen Lösung ist so umzusetzen, dass sie nicht nur für den momentanen Bearbeiter durchschaubar, sondern für jeden anderen befugten Mitarbeiter zu einem späteren Zeitpunkt nachvollziehbar ist. Zweckmäßigerweise sind sämtlich vorgenommene Änderungen mit einer entsprechenden Begründung in Stichpunkten und oder bildlicher Form unter Angabe des Bearbeiters zu dokumentieren. Das betrifft beispielsweise notwendige Änderungen aufgrund nicht fertigungsgerechter Gestaltung des Gussteils aber auch die Dokumentation von Simulationsergebnissen u.a. Leider ist dies in den Unternehmen nur selten der Fall. Das ist jedoch Voraussetzung um wiederholt Fehler zu vermeiden, systematisch die Qualität der Produkte zu verbessern und die Kalkulationsgenauigkeit der Gussteile zu erhöhen.

## **Literatur**

- [1] Gerken, H.; Weyrich, M.:  
Technologien zum Wissensmanagement in der CAD/CAM-Prozesskette  
Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung 95 (2000) 11, S. 543 – 545
  
- [2] Patentdatenbanken  
STN® International The Scientific & Technical Information Network  
c/o Fachinformationszentrum Karlsruhe
  
- [3] Pfisterer, W.:  
Vervollständigung und Bewertung von Anfragen auf Realisierbarkeit bei der Angebotsbearbeitung in Gießereien  
Dissertation, Universität Magdeburg 1999

- [4] Scheler, R.; Hofmann, I.; Krötzsch, S.; Ambos, E.; Pfisterer, W.:  
Rechnerunterstützte Ähnlichkeitsuche bei der Angebotserarbeitung von Gussstücken,  
Teil 2: Assistenzsystem Ähnlichkeitsuche  
Giesserei 87 (2000) 8, S. 72 – 78
- [5] Scheler, R.; Hofmann, I.; Ambos, E.; Pfisterer, W.:  
Rechnerunterstützte Ähnlichkeitsuche bei der Angebotserarbeitung für Gußstücke,  
Teil 1: Stand der Technik  
Giesserei 87 (2000) 4, S. 72 – 79
- [6] Krötzsch, S.; Hofmann, I.; Kreutzmann, F.; Ambos, E.; Paul, G.:  
Rationelle Informationsbereitstellung bei der Bearbeitung von Angeboten für Gussstücke  
Giesserei 84 (1997) 10, S. 15 – 21
- [7] Lichtenberg, H.; Hofmann, I.; Pfisterer, W.:  
Aufgaben und Bedingungen der Fertigungsvorbereitung für die Herstellung von Gussstücken  
Research Conference zum BMBF-Projekt „Innovative Gießerei,  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg 1998, Preprint Nr. 6 1998, Seite 4 – 12
- [8] Müller, G.:  
Technologische Fertigungsvorbereitung, Maschinenbau  
Verlag Technik Berlin 1979
- [9] Miersch, N.; Hofmann, I.; Ambos, E.:  
Methodik der Rohteilgenerierung in Gießereien mit verlorenen Formen  
Teil 1: Stand der Technik – Einförmige, Formkastenbelegung, Teilung  
Giessereiforschung 2 (2001)
- [6] DISAMATIC-DMS 2110 LP  
Handbuch der Anwendungstechnik für DISAMATIC 2110 MK3 Sandformsystem  
Dokumentationsunterlagen der Firma Georg Fischer DISA 1996
- [7] Düsen im SEIATSU - Formverfahren  
Information 003, Düsen im SEIATSU - Formverfahren  
Heinrich Wagner Sinto Maschinenfabrik GmbH 1996
- [8] Pfisterer, W.:  
Vervollständigung und Bewertung von Anfragen auf Realisierbarkeit bei der  
Angebotsbearbeitung in Gießereien  
Dissertationsschrift Otto – von - Guericke-Universität Magdeburg 1999.
- [9] Ambos, E.; Lemke, H.:  
Vergleich zwischen kastenlosen und kastengebundenen Formen – Versuch einer objektiven  
Wertung  
Giessereitechnik 23 (1977) 11 , S. 338 – 342
- [10] Voss, G.:  
Reduzierung von Formschrägen und Vermeiden von Ballenabrissen bei Formanlagen für ton-  
gebundene Formstoffe durch Maßnahmen an Formmaschinen  
Giesserei 86 (1999) 6, S. 150 - 153