

Rationelle Angebotserarbeitung in der Gießerei unter Beachtung technologischer Ähnlichkeit

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktoringenieur
(Dr.-Ing.)**

von Dipl.-Lehrer Hannes König
geb. am 31.05.1958 in Vacha / Rhön

genehmigt durch die Fakultät Maschinenbau
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Gutachter: Prof. i.R. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. E. Ambos
Prof. Dr.-Ing. H. Kühnle
Prof. Dr.-Ing. W. Schneider

Promotionskolloquium am 29.09.2008

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Einleitung	5
2. Stand der Technik - Angebotserarbeitung im Planungsprozess	7
2.1 Besonderheiten bei der Angebotserarbeitung in Gießereien	9
2.1.1 Angebotserarbeitung für das Gießen in verlorenen Formen	9
2.1.2 Aufgabenteilung und Strukturen in einer Gießerei	10
2.2 Rechnergestützte Planungshilfen	12
2.2.1 PPS- und ERP-Systeme in der Gießereiindustrie	12
2.2.2 Assistenzsysteme und Simulationswerkzeuge im Planungsprozess	14
2.3 Möglichkeiten einer Vorkalkulation	16
2.3.1 Verwendung von Checklisten	16
2.3.2 Verwendung von Zeitwerttabellen	17
2.3.3 Berücksichtigung der Metallpreisschwankungen	17
2.4 Maßnahmen für eine effektive Angebotserarbeitung	18
2.4.1 Anfragebewertung und Differenzierung von Angebotsarten	18
2.4.2 Ähnlichkeitsuche aus durch Nachkalkulation gesicherter Datenbank	18
2.5 Zusammenfassender Vergleich von Hilfsmitteln in der Arbeitserarbeitung	19
3. Stand der Technik – Nutzung des Prinzips der Ähnlichkeit	20
3.1 Ähnlichkeit von Bauteilen	21
3.1.1 Geometrische Ähnlichkeit von Bauteilen	22
3.1.2 CAD-Systeme als Hilfsmittel bei Ähnlichkeitsbetrachtungen	24
3.1.3 Technologische Ähnlichkeit in Abhängigkeit vom Fertigungsverfahren	26
3.1.4 Ähnlichkeitsbetrachtungen durch Klassifikationsverfahren beim Urformen	30
3.2 Weitere Methoden der Wiederhol- und Ähnlichkeitsuche	35
3.2.1 Klassifizierungsschlüssel	35
3.2.2 Sachmerkmal-Leisten	37
3.2.3 Clusteranalyse	39
3.2.4 Fuzzy-Logic	42
3.2.5 Fourieranalyse	44
3.2.6 Neuronale Netze	45
3.2.7 Featurebasierte Ähnlich- und Wiederholkeitsuche	46
3.2.8 Bewertung der Klassifizierungsmethoden	48
3.3 Betrachtung von Wiederhol-, Ähnlich- und Neuteilen in der Gießerei	51
3.4 Zusammenfassung zum Stand der Technik	54

4	Zielstellung der Arbeit	56
5	Hypothesen	58
6	Untersuchungsergebnisse	60
6.1	Untersuchungen zur Angebotserarbeitung für Laufräder	62
6.1.1	Varianten der Angebotserarbeitung in Abhängigkeit von der Modellbereitstellung	62
6.1.2	Analyse des Angebotsprozesses und verwendete Hilfsmittel	66
6.1.3	Analyse von Arbeitsplänen zur Untersuchung von Ähnlichkeitsmerkmalen	69
6.1.4	Verwendung gleicher Modelleinrichtungen für unterschiedliche Werkstoffe	76
6.2	Ähnlichkeitsuche im Zuge der Angebotserarbeitung	77
6.2.1	Klassifikationen und Ähnlichkeitbetrachtungen bei Pumpenlaufrädern	77
6.2.2	Spezifische Kriterien für Ähnlichkeitbetrachtungen bei Pumpenlaufrädern	79
6.2.3	Assistenzsystem zur Ähnlichkeitsuche in die Angebotserarbeitung	80
6.3	Zeitkalkulationen für die Laufradfertigung	92
6.3.1	Grundsätzliche Vorüberlegungen zur Zeitkalkulation für Laufräder	93
6.3.2	Mathematisches Modell zur Generierung der Formzeiten für Laufräder	94
6.3.3	Mathematisches Modell zur Generierung der Kernformzeiten für Laufräder	98
6.3.4	Mathematisches Modell zur Generierung der Ausleerzeiten für Laufräder	100
6.3.5	Mathematisches Modell zur Generierung der Putzzeiten für Laufräder	101
6.3.6	Anwendung des mathematischen Modells auf ein Beispielteil	102
6.3.7	Verwendung der errechneten Fertigungszeiten im Ähnlichkeitvergleich	103
7	Zusammenfassung und Ausblick	106
8	Verzeichnisse	108
8.1	Literaturverzeichnis	108
8.2	Bilderverzeichnis	116
8.3	Tabellenverzeichnis	118
8.4	Anlagenverzeichnis	119
8.5	Begriffsbestimmung	120
9	Anlagen	
	Schriftliche Erklärung	
	Lebenslauf	

1. Einleitung

Die Bedeutung der deutschen Gießerei-Industrie hat, entgegen skeptischer Vorhersagen in den letzten Jahren sogar deutlich zugenommen [01].

Die Ursachen einer wenig positiven Einschätzung lagen in einer einseitigen Betrachtung der Situation. Betrachtet man nur die deutlich höheren Arbeitskosten in Deutschland im Vergleich zu osteuropäischen Staaten liegt eine derartige Prognose nahe. Allerdings darf man in der Einschätzung Standortvorteile, wie eine dynamische Abnehmerindustrie, eine effiziente Infrastruktur, eine sichere Rohstoff- und Energieversorgung, sowie die gut ausgebildeten Fachkräfte nicht vernachlässigen. Positiv für die Entwicklung der deutschen Gießereien wirkt sich die Einführung neuer Werkstoffe mit verbesserten Anwendungsmöglichkeiten, wie die Erweiterung der Legierungspalette durch ADI-Werkstoffe und hochfeste Leichtmetalllegierungen aus.

In enger Zusammenarbeit mit den Kunden und durch Einsatz moderner Softwarelösungen, wie der numerischen Simulation und FEM-Programmen zur Festigkeitsberechnung, ist es möglich, Produkte zu optimieren, Gewichte zu reduzieren, Festigkeitseigenschaften zu verbessern, Spannungen im Bauteil zu vermeiden und damit Kosten und Zeit zu sparen [02].

Seit ca. zehn Jahren gehört Deutschland weltweit zu den fünf größten Gussherstellern. Die deutsche Gießereiindustrie profitiert sowohl von einer steigenden Inlandsnachfrage als auch von der Globalisierung. Die Exportquote betrug 2004 31%. Während die Exportrate seither stagniert, stieg die Inlandsnachfrage im Zuge der Konjunktur in den letzten Jahren mit zweistelligen Zuwachsraten. Auch wenn sich zunehmend eine Verlangsamung dieser positiven Entwicklung abzeichnet, ist von einer weiteren Steigerung der Produktionsmenge von jährlich ca. 3% auszugehen [03].

Trotz eines Anteiles von nur 1% an der gesamten Industrieproduktion in Deutschland nehmen die Gießereien eine wichtige Rolle als Zulieferindustrie für das verarbeitende Gewerbe ein. Kaum eine Branche kommt ohne gegossene Teile aus. Allein 56% der Gießereiproduktion wird durch Kunden im Straßenfahrzeugbau, und weitere 22% aus dem Maschinenbau beauftragt [01].

Hierdurch wird aber auch die Abhängigkeit der Gießereiindustrie von der Entwicklung dieser Branchen deutlich. Der Trend einer anhaltenden Reduktion der Fertigungstiefe z.B. in der Automobilindustrie kommt der Entwicklung der Gießereiindustrie zu Gute.

Ein ähnliches Bild stellt sich in der Maschinenbaubranche dar. Der Maschinenbau wird zudem vom zunehmenden Rationalisierungsdruck und von einer steigenden Investitionsneigung in deutschen Unternehmen profitieren.

Zu Wettbewerbskriterien für Gießereien werden immer höhere Qualitätsansprüche, eine hohe Lieferflexibilität und Termintreue. Das wiederum erfordert von den Gießereien eine hohe Produktionsflexibilität, sichere Prozesse und damit zuverlässige Planungs- und Steuerungsstrategien.

Es hat sich gezeigt, dass kleinere und mittlere Gießereien besonders erfolgreich sind, wenn sie sich auf ausgewählte Gussstückgruppen konzentrieren. Durch diese Spezialisierung kann das hohe Maß an Erfahrung zu Gunsten einer höheren Qualität eingesetzt werden. Außerdem kann die wachsende Teilevielfalt besser beherrscht werden. Im Zuge von immer individuelleren Lösungen wird die Bindung von Gießerei und Kunde enger. Das hat ebenfalls positive Auswirkungen auf die Qualität der Produkte und die Effizienz der gemeinsam erarbeiteten Lösungen. Die Gießereien können sich so vom reinen Zulieferer immer mehr zum Problemlöser für den Kunden etablieren. Damit verliert der Wettbewerbsdruck durch Niedrigpreise aus Osteuropa für die deutschen Gießereien an Bedeutung.

Der Einsatz eines modernen Informations- und Wissensmanagements wird in diesem Prozess unumgänglich. Neben Produktionsplanungs- und -steuerungssystemen [04], Systemen zur Prozess- und Qualitätsdatenerfassung [05] und -auswertung, Systemen zur Produkt- und Prozesssimulation [06], werden Programme zur Angebotserarbeitung als entscheidender Schritt zur Auftragseinwerbung an Bedeutung gewinnen. Die Nutzung solcher Systeme erfolgt in Gießereien jedoch sehr differenziert.

Nach wie vor basieren Tätigkeiten der Arbeitsvorbereitung wie die Angebotserarbeitung in Gießereien in einem hohen Maße auf den Erfahrungen und Routinen der Planer, die mit dem Teilesortiment und den Möglichkeiten des eigenen Betriebes lange vertraut sind.

In Anbetracht des Verhältnisses abgegebener Angebote zu eingehenden Aufträgen von ca. 20:1 [07], aber auch der Zunahme der Komplexität der Teile, kurzer Lieferzeiten und erhöhter Qualitätsansprüche steigen die Anforderungen bei der Erstellung zuverlässiger Angebote. D.h. bereits im Rahmen der Angebotserarbeitung sind wesentliche Entscheidungen zur Fertigungstechnologie als Basis der Kalkulation zu treffen.

Dem detaillierten Durchdenken einer Fertigungstechnologie steht aber der verfügbare Zeitfonds bei der Angebotserstellung entgegen. Einen rationellen Weg stellt die Anpassung von Technologien bereits nachkalkulierter ähnlicher Gussteile dar.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden Untersuchungen zur Ähnlichkeit von Gussteilen durchgeführt. Im Ergebnis dessen werden Entscheidungshilfen zur effizienten Suche und Auswahl ähnlicher Bauteile und eine Lösung zur Erstellung einer zuverlässigen Angebotskalkulation am Beispiel von Laufrädern vorgestellt.

2. Stand der Technik – Angebotserarbeitung im Planungsprozess

Die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens hängt wesentlich von der Fähigkeit, der Entwicklung und Fertigung qualitativ hochwertiger Produkte in kurzen Zeiträumen bei minimalem Aufwand ab (siehe auch **Bild 2.1**).

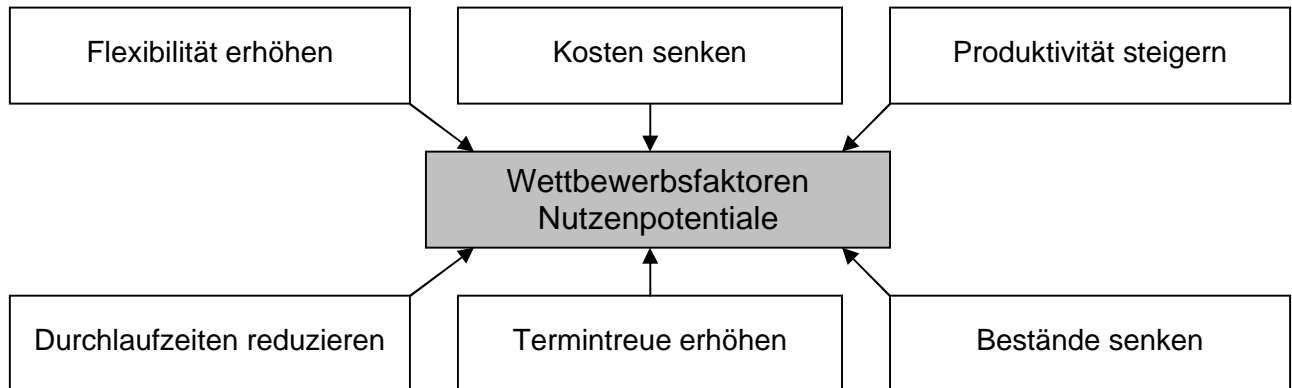


Bild 2.1 Wettbewerbsfaktoren, Nutzenpotentiale [08]

Neben der Konstruktion nimmt die Arbeitsvorbereitung in einer Gießerei eine Schlüsselrolle dabei ein. Sie beeinflusst mit ihren Erfahrungen in Bezug auf die fertigungsgerechte Gestaltung der Gussteile und ihren Entscheidungen bei der Auswahl der Ausrüstungen, Werkzeuge, Materialien, der Arbeitsgangfolge und der Gießtechnologie wesentlich die erforderlichen Aufwendungen und anfallenden Kosten für ein Gussteil und damit die Wirtschaftlichkeit der Fertigung. Der Einzug moderner rechnergestützter Hilfsmittel entlastet den Arbeitsvorbereiter bei einzelnen Aufgaben z.B. bei Kalkulationsroutinen.

Bei technologischen Entscheidungen ist jedoch nach wie vor das Erfahrungswissen des Planers gefragt. Numerische Simulationen zur Überprüfung des Anschnittsystems und der Speisung oder zur Überprüfung ausreichender Bearbeitungszugaben werden nur selten im Rahmen der Angebotserarbeitung angewandt. Oft sind in Gießereien die erforderlichen hardwaretechnischen und personellen Voraussetzungen nicht vorhanden. Auch die externe Abgabe derartiger Aufgaben ist hinsichtlich des Zeit- und Kostenaufwandes oft nicht vertretbar. So bleiben diese Hilfsmittel in der Phase der Angebotserarbeitung meist ungenutzt.

Die von den Interessenverbänden der Gießereiindustrie in unregelmäßigen Abständen ausgeschrieben Kalkulationsvergleiche zeigen immer wieder die Subjektivität eines Angebotes. So wurde beispielsweise 1987 vom Gießerei-Verband eine Musterkalkulation eines Druckgießwerkzeuges von 31 Firmen nach überlassener Konstruktionszeichnung durchgeführt, wobei die Werkzeugkosten vom kleinsten zum größten Preis um über 300% voneinander abwichen [09]. Auch wenn dieser Vergleich nicht mehr aktuell ist und sich auf

ein Druckgießwerkzeug bezieht, dokumentiert er nachhaltig, welche Bedeutung die Kalkulation auch auf die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens hat. Hieraus ergibt sich auch der Anspruch auf effiziente und sichere Kalkulationswerkzeuge.

Die für die Angebotskalkulation einzusetzende Software sollte die Arbeit des Planers unterstützen und vereinfachen und auf der Basis von Erfahrungen und Erkenntnissen von Workflow-Management-Systemen als Expertensystem fungieren [10]. In der Praxis allerdings findet man meist eher einseitig orientierte Lösungen.

Die Angebotskalkulation erfordert trotz des Einsatzes von Rechentechnik eine reichhaltige Erfahrung des Planers und innerbetriebliche Kompetenz. In den meisten Fällen werden bei der Planung durch den Angebotsbearbeiter eher unbewusst Ähnlichkeitsbetrachtungen zu bereits gefertigter Gussteile vorgenommen. Damit vereinfachen sich die Denkansätze auf Neudimensionierung und Änderungsaufgaben. Diese Arbeitsweise bringt Zeit- und damit Kostenvorteile. Da man sich jedoch hierbei ausschließlich auf innerbetriebliches Erfahrungswissen stützt, bleibt offen, ob es sich bei der Planung auch um eine optimale Fertigungsstrategie handelt. Des Weiteren erfordert dieses Vorgehen eine konsequente Nachkalkulation und Fehlerauswertung aller ausgeführten Aufträge, um bei Ähnlichkeitsbetrachtungen eine fundierte Arbeitsgrundlage zu besitzen. Nicht außeracht zu lassen sind dabei die sich am Markt verändernden Kosten in Bezug auf Arbeitszeit, Investitionen und Material.

In [11] werden die Beziehungen zwischen Zeitaufwand der Angebotserarbeitung, der Güte der Fertigung und Genauigkeit der Vorkalkulation herausgestellt. Ebenso werden Abhängigkeiten der Kalkulation von Art und Größe des Gussstückes sowie von den geforderten Stückzahlen betrachtet. Es wird auf die erforderliche Sorgfalt bei der Bearbeitung von Anfragen unter Betrachtung der Herstellungskosten verwiesen.

Statistisch wird nachgewiesen, dass zwar am häufigsten Kleinteile angefragt und damit kalkuliert werden, diese jedoch nur einen geringen Teil der Gesamterstellungskosten einer Gießerei ausmachen. Deshalb wirken sich Kalkulationsungenauigkeiten sich hier nicht so signifikant wie bei Großteilen aus. Es wird angemerkt, dass die Kosten für die Planung in einem vertretbaren Verhältnis zu den zu erwartenden Herstellungskosten stehen sollten.

Damit wird deutlich, welche Bedeutung eine effiziente Angebotserarbeitung für die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens hat.

2.1 Besonderheiten bei der Angebotserarbeitung in Gießereien

Eine korrekte Vorplanung des Fertigungsablaufes und eine treffende kaufmännische Kalkulation nehmen in Gießereien eine Schlüsselrolle für die Marktfähigkeit des Unternehmens ein.

Allgemein ergeben sich für die Bearbeitung von Anfragen folgende Teilaufgaben:

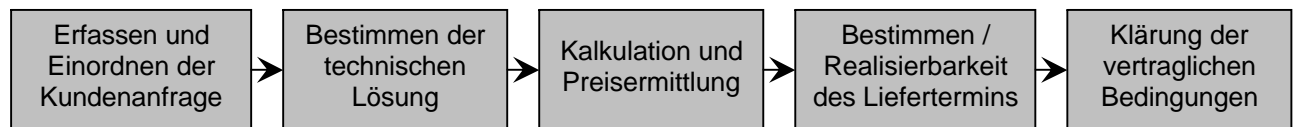


Bild 2.2 Teilaufgaben der Angebotserarbeitung [12]

2.1.1 Angebotserarbeitung für das Gießen in verlorenen Formen

Die Komplexität der Einflussfaktoren auf ein wirtschaftlich vertretbares und qualitativ verlässliches Produktionsergebnis ist beim Gießen besonders hoch. Aus diesem Grund sind möglichst umfassende und aussagekräftige Anfrageunterlagen durch den Kunden besonders wichtig. In der Praxis ist dies jedoch meist nur durch eine gute Kommunikation zwischen Kunden und Gießerei bei der Angebotserarbeitung zu erreichen. Die Bereitstellung des Modells erfolgt häufig durch den Kunden selbst. Um unnötige Anpassungsarbeiten am Modell im Rahmen der Fertigungsvorbereitung zu vermeiden, ist es zweckmäßig, den Kunden bei der Entwicklung des Rohteils mit einzubeziehen.

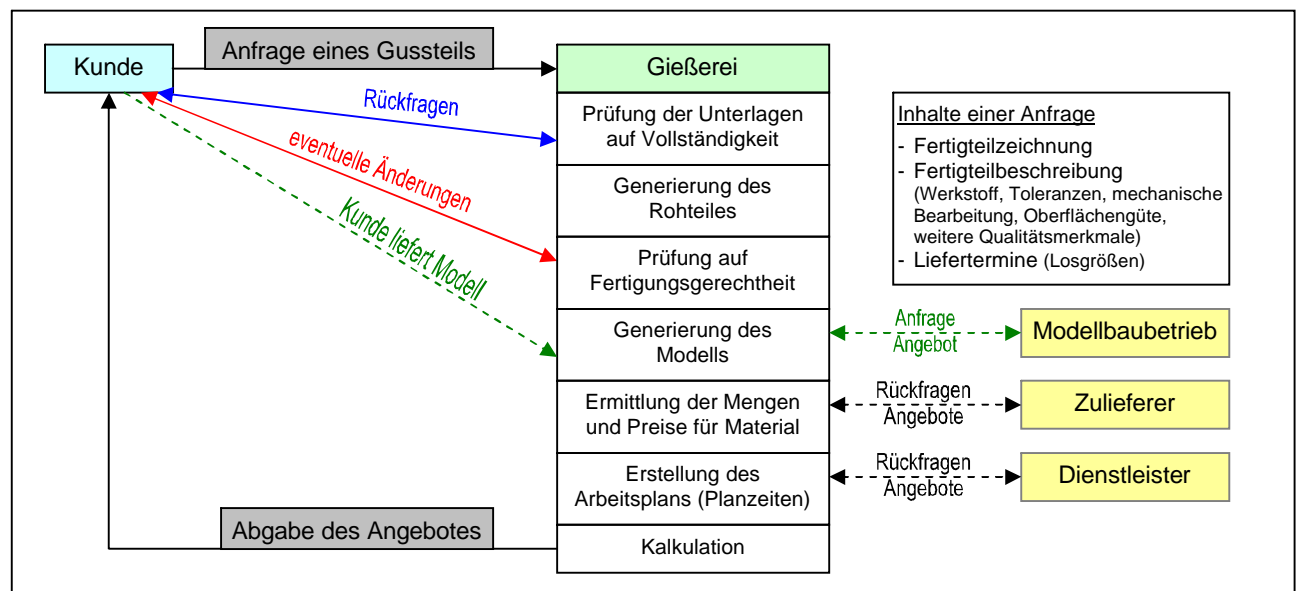


Bild 2.3 Von einer Anfrage zum Angebot – Angebotserarbeitung in einer Gießerei

Wird aus dem abgegebenen Angebot ein Auftrag, erfolgt in gleicher Weise wie bei der Angebotserarbeitung auch die Auftragsbearbeitung. Bei großen Stückzahlen wird vor der Serienfertigung häufig ein Probeabguss realisiert. Dadurch sind noch Änderungen vor der Serienfertigung möglich, um einwandfreie Gussteile zu fertigen. Bei der Einzel- und Kleinserienfertigung wird aus Kostengründen darauf verzichtet und das Gussteil

gegebenenfalls nachbearbeitet. Bei funktionsbeeinträchtigenden Fehlern wird der erste Abguss dem Ausschuss zugeordnet. Eine Alternative zu Probeabgüssen, besonders bei aufwendigen Teilen und auch bei Gussteilen aus verschiedenen Legierungen, ist die Simulation der Fertigung am Rechner (Formfüll-, Gieß- und Erstarrungssimulation).

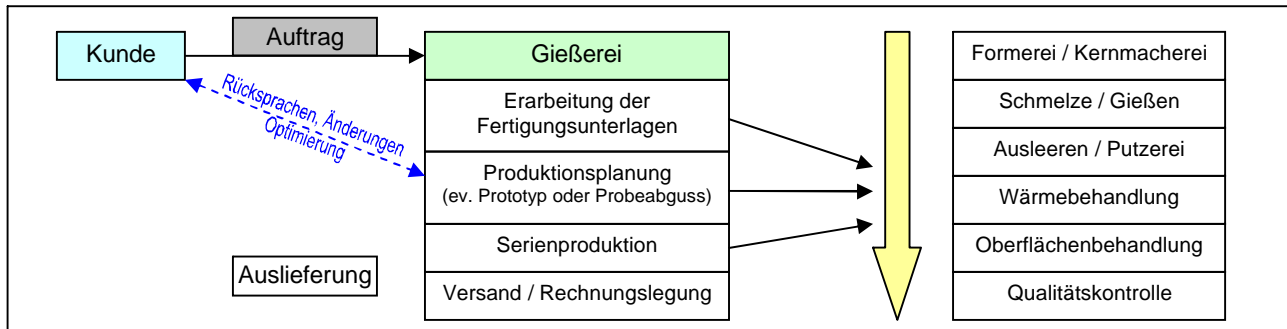


Bild 2.4 Ablauf der Auftragsabwicklung mit Fertigungsprozess in einer Gießerei (vereinfacht)

Für die Angebotserarbeitung in Gießereien bildet fast immer eine Fertigteilezeichnung die Basis. Dabei erfolgt in Eisen- und Stahlgießereien der Datenaustausch häufig noch traditionell über die Post oder das Fax. Der Umgang mit digitalen 3D-Konstruktionsdaten ist hier im Gegensatz zu Druckgießereien noch nicht so verbreitet. Bei den Kunden hingegen werden die Konstruktionen bereits weitestgehend auf diesem Weg erstellt. Eine durchgängige Nutzung von CAD-Daten beginnend von der Konstruktion über die Planung bis hin zur Fertigung und Qualitätssicherung könnten zukünftig zu einer höheren Effizienz in den Gießereien führen [13]. Doch selbst die Verwendung von Viewern für 3D-Daten wird noch nicht ausreichend als hilfreiches Instrument genutzt. Aus diesem Grund wird in Untersuchungen die Verwendung von 3D-Daten zwar perspektivisch angedacht, jedoch nicht als repräsentativ betrachtet werden. Selbst die Eingabe und Pflege der Daten zur rechnergestützten Auftragsverwaltung ist trotz oder gerade auf Grund der enormen Teilevielfalt meist noch nicht durchgängig erreicht. Ein gut gepflegter Datenbestand ist jedoch eine zwingende Voraussetzung für eine effektive Ähnlichsuche innerhalb der Angebotserarbeitung.

Bei eigenen Analysen in Gießereien wurde festgestellt, dass bei identischen Gussteilen in unterschiedlichen Werkstoffen keine Modifikationen der Modelle vorgenommen wurden und oft nur eine Kopie des Arbeitsplanes des Originalteiles in der Datenbank vorgefunden wurde. Diese Art der Dokumentation ist beim heutigen Stand der Technik unzureichend und lässt den dringenden Handlungsbedarf für eine wissenschaftliche Vorgehensweise zur Dokumentation und Planung von Ähnlichteilen deutlich werden.

2.1.2 Aufgabenteilung und Strukturen in der Gießerei

Je nach Größe einer Gießerei findet bezüglich der Angebotserarbeitung eine mehr oder

weniger ausgeprägte Arbeitsteilung statt. Dabei ist in allen Gießereien eine enge Verbindung von Arbeitsvorbereitung und Fertigung vorhanden. In allen untersuchten Gießereien ist ein nahezu uneingeschränktes Vertrauen von beiden Seiten in die jahrelange Erfahrung aller Beteiligten festzustellen. Viele Prozesse laufen auf diese Art und Weise durch Routine auch ohne ausdrückliche Anweisungen und Dokumentation ab. Damit werden dauerhaft innerbetriebliche Prozesse bestimmt. Änderungen und Neuorientierungen sind auch in Anbetracht des steigenden Wettbewerbsdrucks nur schwer umsetzbar. Der oft beklagte Fachkräftemangel trägt zusätzlich dazu bei, traditionelle Abläufe eher zu belassen als ihre Effizienz in Frage zu stellen oder gar Änderungen zuzulassen. Besonders schwierig ist hierbei die Situation in kleinen Gießereien, da hier viele Aufgaben in Personalunion realisiert werden.

Hinzu kommt, dass der Einsatz von Rechentechnik sich oft nur auf ein Mindestmaß an Datenverwaltung beschränkt. Eine Nachbereitung erfolgt oft nur sporadisch. Die hohen Kosten für CAD- oder gar Simulationssoftware werden zudem von diesen Unternehmen oft gescheut. Der Einsatz derartiger Software stellt jedoch nicht nur aus finanzieller Sicht eine Belastung dar, sie erfordert auch Weiterbildung, Einarbeitungszeit und damit personelle Ressourcen. Trotz der Einsicht in die Notwendigkeit von Veränderungen werden diese Aufgaben entweder nicht in Angriff genommen oder extern delegiert.

In den **Bildern 2.6 bis 2.8** werden exemplarisch die Wege der Anfrageunterlagen während der Angebotserarbeitung und damit die Arbeitsteilung in drei Gießereien dargestellt [10].

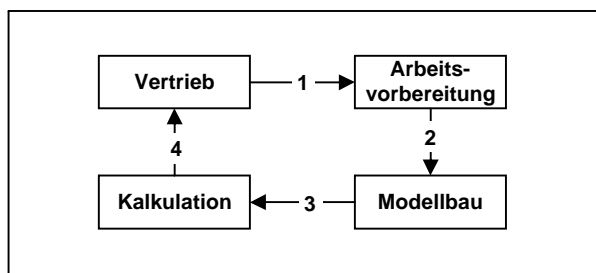


Bild 2.6 Wege der Anfrageunterlagen (Durchlauf)

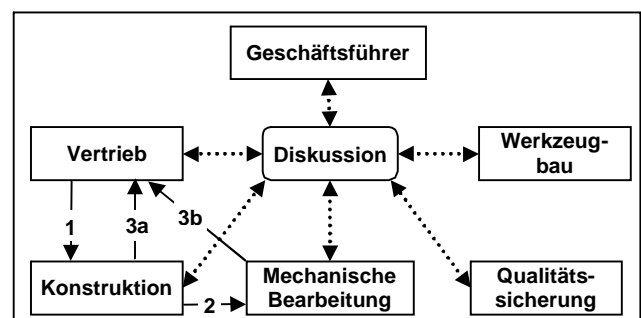


Bild 2.7 Wege der Anfrageunterlagen (Diskussion)

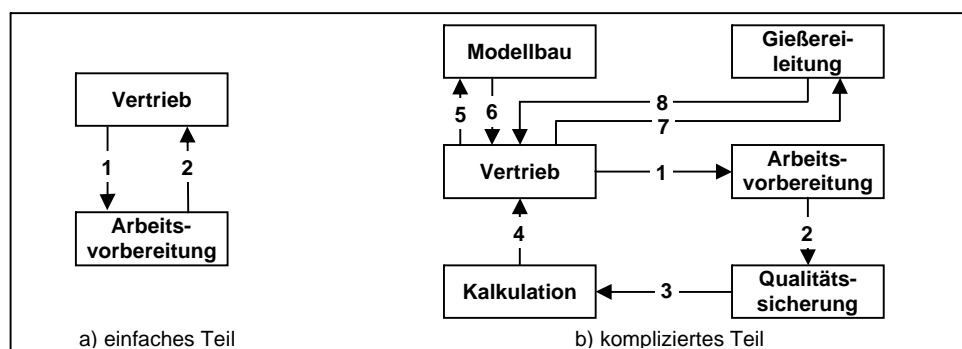


Bild 2.8 Wege der Anfrageunterlagen (differenziert nach Schwierigkeit des Teils)

2.2 Rechnergestützte Planungshilfen

2.2.1 PPS- und ERP-Systeme in der Gießereiindustrie

Die Mehrzahl der Gießereiunternehmen verfügt heute über ein PPS-System (Produktionsplanungs- und steuerungssystem) bzw. eine ERP-Lösung (Enterprise Resource Planning), die direkt auf bestimmte Unternehmensarten (z.B. Automobilbau oder Gießerei) zugeschnitten sind. Während in kleineren Gießereien PPS-Systeme überwiegen, nutzen Gießereien mit Mittel- und Großserienfertigung oft die Vorteile von ERP-Systemen (z.B. SAP R/3 bzw. mySAP ERP). Ziel des Einsatzes von PPS- und ERP-Lösungen ist die Realisierung kurzer Durchlaufzeiten, Termineinhaltung, optimale Bestandshöhen, sowie die wirtschaftliche Nutzung der Betriebsmittel. Neben dieser allgemeinen Zielsetzung werden zu deren Umsetzung verstärkt branchenspezifische Lösungen angestrebt, um eine noch höhere Akzeptanz dieser Softwarewerkzeuge zu erreichen. Erste Ansätze der Integration von gießereispezifischen Abläufen und Erfahrungswerten in bestehende PPS-Systeme sind bereits vorhanden [10], [14].

In [15] wird die praktische Anwendung von ERP-Software für die datenverarbeitungsgestützte Kalkulation spezifischer Aufgaben in der Gießerei mit dem System FOSS (Factory and Office System Software) vorgestellt. Die Vorteile solcher Lösungen liegen in einer homogenen, durchgängig identischen Datenbasis von der Konstruktion über die Fertigungsplanung und –steuerung bis hin zum Controlling. Die integrierte Nachkalkulation ermöglicht nicht nur den Vergleich zwischen geplanten und tatsächlichen Kosten, sie sichert auch zusätzlich die verlässliche Basis für eine Neukalkulation auf der Grundlage von Ähnlichteilbetrachtungen.

Bei der Software „ProduCAM/GUSS“ handelt es sich beispielsweise um ein gießereispezifisches PPS-System mit integriertem Multi Resource Management (MRM). Es hilft, Rüst-, Produktions- und Ausfallkosten zu senken. Seine Flexibilität bzgl. der Anpass- und Erweiterbarkeit auf die Bedürfnisse und Anforderungen der Gießerei sind ebenso von Vorteil wie eine Prioritätensteuerung und schnelle Störungsidentifikation [16].

Weitere Beispiele für in der Gießereiindustrie eingesetzte Tools sind: „MRM“, GussMan“, „Guss Info“, „PCGUSS 2000, und die Software „Opti“.

Der Deutsche Gießereiverband ließ im Rahmen eines Forschungsprojektes einen Vergleich „Gießereispezifischer Software“ vornehmen [04]. Hierbei wurden gießereirelevante PPS-Systeme bezüglich verschiedener Kriterien verglichen. Die Berücksichtigung der Gießereibedürfnisse ermittelt den Grad der Ausrichtung dieser Software auf den Einsatz in Gießereien unter Berücksichtigung verschiedener Gießverfahren. Die Aussagen zur Fertigungssteuerung stellen fest, inwieweit die Software

eine gießereispezifische Produktionsplanung zulässt. Weiterhin wurde die Funktionalität einer integrierten Kostenrechnung und einer vollständigen Auftragsplanung im Hinblick auf Terminierung und Materialbedarfsermittlung, Kapazitätsauslastung- und Engpassplanung, sowie Ressourcenverwaltung untersucht. Die Beurteilung zur Eignung als Frühwarnsystem beinhaltet eine rechtzeitige Anzeige bei Über- bzw. Unterschreitung von Grenzwerten in Bezug auf Kosten und Mengen. Des Weiteren wurden die Integration einer externen Datenübertragung via Internet/Intranet und Möglichkeit, Daten per E-Mail zu verschicken untersucht. Ebenso wurde mit dem Kriterium Dateninput geprüft, in welcher Weise Datenschnittstellen zu anderen Programmen vorhanden und damit ein Datentransfer ohne Datenkonvertierung möglich ist. Mit den Kriterien Qualitätssicherung und Dokumentation wurde untersucht, in welchem Grad Möglichkeiten zur Beschreibung der Ergebnisse vorhanden sind. Die Möglichkeiten einer individuellen Anpassung der Anwendungsmasken und Dialogtexte, auf betriebliche Gegebenheiten, wie z.B. Gießverfahren und sonstige Organisationsunterschiede sowie Möglichkeiten einer individuellen Formulargestaltung wurden im Kriterium Customizing erfasst. Das Ergebnis dieses Vergleichs wird in **Tabelle 2.1** zusammengefasst.

	Guss Info 7.0	Opti V7	GussMan	FOSS	PC Guss 2000	ADICOM MRM
Berücksichtigung von Gießereibedürfnissen	+	++	++	0	+	++
Fertigungssteuerung	+	++	++	++	+	++
Kostenrechnungsfunktionalität	+	+	0	++	0	--
Auftragsplanung	++	++	+	++	+	-
Eignung als Frühwarnsystem	+	++	0	0	0	+
Datenübertragung	-	++	++	++	++	+
Dateninput	-	++	+	++	0	+
Qualitätssicherung	++	++	++	--	++	+
Dokumentation	++	++	+	+	++	+
Customizing	--	++	+	++	++	0

Tabelle 2.1 Vergleich gießereispezifischer Software-Tools nach [04]

Legende: ++ Optimale Nutzbarkeit, + gute Nutzbarkeit, 0 vorhanden, - kaum verwendbar, -- nicht verwendbar

Bis auf „Guss Info 7.0“ können mit allen aufgeführten Programmen Angebote erstellt und bearbeitet werden. Ebenso verfügen alle Programme über die Möglichkeit der Durchführung einer Vor- und Nachkalkulation (ADICOM MRM ohne Nachkalkulation). Ebenso beinhalten alle Systeme in der Teilstammverwaltung Such- und Selektionsmöglichkeiten nach freitextlichen oder auch feldbezogenen Inhalten (z.B. Modell-, Auftrags- oder Zeichnungsnummer). Dagegen ist die Möglichkeit und

Darstellbarkeit der Ergebnisse hinsichtlich eines Teilevergleichs für eine mögliche Ähnlichteilbetrachtung nur sehr eingeschränkt möglich. Über eine gezielte Ähnlichteilsuche durch die Verwendung von Ähnlichkeitskriterien verfügt keines der Programme. Die Generierung von Arbeitsplänen ist zwar gießereispezifisch aufbereitet, es sind jedoch keine Werkzeuge zur assistierenden Zeitkalkulation der Arbeitsschritte vorhanden.

Alle untersuchten und verglichenen Bewertungskriterien erfüllte „Opti V7“ von RGU mit einer fast ausschließlich optimalen Nutzbarkeit für Gießereien.

2.2.2 Assistenzsysteme und Simulationssoftware im Planungsprozess

Die Erarbeitung eines Angebotes stützt sowohl sich auf Formeln z.B. zur Gewichtsbestimmung auf die Anwendung von Algorithmen z.B. Wenn-Dann-Sonst-Entscheidungen als auch auf Erfahrungswissen [17]. Während Formeln und Algorithmen unproblematisch durch eine Softwarelösung abgebildet werden können, stellt sich die Integration von Erfahrungswissen in einer Softwarelösung aufwendiger dar. Für eine integrierte Anwendung kommen hierfür nur Assistenzsysteme in Frage [18], [19]. Diese gewinnen in Anbetracht immer umfangreicherer Datenmengen zunehmend an Bedeutung. Wesentliches Merkmal dieser Softwarelösungen ist der detaillierte Zuschnitt auf einen konkreten Sachverhalt, der unter Nutzung von konkretem Erfahrungswissen den Nutzer meist über eine Dialogführung bei der Lösung einer Aufgabe unterstützt. Neben dem Aspekt einer damit erreichbaren höheren Arbeitseffizienz und Ergebnisqualität, weisen hiermit erarbeitete Datensätze eine höhere Verlässlichkeit und Qualität auf und sind somit als gesichertes Erfahrungswissen für spätere Betrachtungen nutzbar.

Neben unmittelbar für die Planungs- und Verwaltungsarbeit entwickelten Softwarewerkzeugen werden ebenfalls Simulationswerkzeuge entwickelt, die zur Untersuchung von Materialflüssen in der Fertigung dienen. Am Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung Magdeburg wurden in der Abteilung Unternehmensplanung die Planungsaufgaben in Gießereien untersucht und ein baukastenbasierendes Simulationswerkzeug für die Gießereiplanung entwickelt. Dieses ermöglicht eine ganzheitliche Betrachtung des Fertigungsprozesses in den Bereichen Formerei und Nachbehandlung mit deren Anbindungen an die Kernfertigung und die Schmelzebereitstellung. Es können verschiedene Materialflüsse bzgl. Chargenbildung und Auftragsfolgen abgebildet werden. Die Abbildung verschiedener Einsteuersstrategien in der Reihenfolge von Fertigungsabläufen ist möglich. Die Erfassung und Auswertung von Durchlauf-, Liege-, Stillstands- und Auslastungszeiten sowie der Bestandshaltung und Auftragstreue ist simulierbar [06]. Damit können die Auswirkungen von Entscheidungen in

der Fertigungsplanung und -steuerung bezogen auf den Fertigungsverlauf erkannt und verändert werden.

Zunehmend stehen auch Simulationsprogramme (z.B. Formfüll- und Erstarrungssimulationen) zur Unterstützung der Technologieplanung und der fertigungsgerechten Gestaltung von Gussteilkonstruktion zur Verfügung. Diese sollten in einem frühen Stadium der Planung eingesetzt werden, um wichtige Fehlerquellen erkennen und ausschließen zu können [20], [21]. In einzelnen Branchen z.B. in der Automobilindustrie (z.B. bei der Planung der Gießtechnologie von Zylinderköpfen) sind diese Werkzeuge nicht mehr wegzudenken.

Ein Beispiel dafür ist die Software „DiEdfice“, die zur Gießlaufgestaltung aus vorhandenen 3D-Daten dient. Aus Eingabegrößen, wie Volumen, Wandstärken und Legierungen ermittelt das Programm die wichtigsten Gießdaten. Sie errechnet Geometrien für Verzweigungen, Füllzeiten, Anschnittgeschwindigkeiten, sowie Einformschrägen und Verrundungsradien. Querschnittserweiterungen in Strömungsrichtung, die bei einer inkompressiblen Flüssigkeit (der flüssigen Schmelze) zum Abreißen der Strömung, zur Bildung von Wirbeln und damit zum Einschluss von Luft in der Schmelze führen könnten, werden ausgeschlossen. So kann u.a. die Dimensionierung des Anschnitt- und Speisersystems und die Kühlung für komplexe Teile optimiert und exakter kalkuliert werden [21]. Weitere Beispiele gießereispezifischer Simulationssoftware sind ProCast, Quickcast, Magmasoft, Wincast, Flow3D, ansysCFX u.a..

Im Rahmen der Angebotserstellung werden nur selten Simulationsrechnungen durchgeführt. Gründe dafür sind in dieser Phase häufig nicht verfügbare STL-Dateien seitens des Kunden. Des Weiteren steht den offensichtlichen Vorteilen des Einsatzes derartiger Software der hohe Zeit- und Kostenaufwand für eine Simulation gegenüber, welcher im Rahmen der Angebotserstellung nicht vom Kunden bezahlt wird. Damit sind insbesondere Neuteile, auch unter dem Aspekt, dass aus Zeit- und Personalgründen oft auf eine Variantenbetrachtung und -bewertung verzichtet wird, mit einem hohen technologischen Risiko behaftet.

2.3 Möglichkeiten einer Vorkalkulation

Bei der Kalkulation eines Gussteiles unterscheidet man in Vorkalkulation – der eigentlichen Angebotserarbeitung, einer mitlaufenden Kalkulation, welche die tatsächlichen Kosten aller zur Produktion erforderlichen Materialien, Maschinen-, Personen- und sonstigen Dienstleistungen erfasst, sowie der Nachkalkulation, welche betriebsinterne Erfahrungswerte aus Einzelteil- Kleinserien- und Serienproduktionen ermittelt und für eine Ähnlichteilbetrachtung bereitstellen soll [15].

2.3.1 Verwendung von Checklisten

Für eine treffende Vorkalkulation sind Qualität und Vollständigkeit der bereitgestellten Informationen entscheidende Einflussfaktoren. Je präziser eine Anfrage formuliert ist, desto genauer kann kalkuliert werden. Aus diesem Grunde wird in vielen Gießereien auf Checklisten als Basis eines gezielten Kundenkontaktes und zur Abklärung notwendiger Fragestellungen zurückgegriffen. Diese können effizient zur eindeutigen Erfassung des „Kundenproblems“ beitragen [22]. Ein weiterer Vorteil der Nutzung von Checklisten besteht darin, dass diese unter verschiedenen Gesichtspunkten und von mehreren Personen geprüft und geändert werden können [23], [24]. Sowohl technische Erfordernisse als auch betriebliche Belange können ausreichend berücksichtigt werden. In Checklisten werden für die Angebotserstellung erforderliche Merkmale bzw. Ergebnisse von Entscheidungsfragen erfasst.

Bei der Prüfung der Anfrageunterlagen auf Vollständigkeit wird zwischen notwendigen und gewünschten Merkmalen unterschieden:

notwendige Merkmale	gewünschte Merkmale
Bezeichnung des Gussteils	Funktionsbeschreibung
Zeichnung (Fertigteilzeichnung)	Rohteilzeichnung bzw. verfügbares Modell
Werkstoff, Masse (Fertigteilmasse)	Rohteilmasse
Stückzahl	Losgröße
Liefertermin / Wunschtermin	Lieferfolge (monatlich, quartalsweise, ...)
Spezielle Qualitätsanforderungen	Normen und Prüfvorschriften
Nachbehandlung und Oberflächenanforderungen	(z.B. Glühen, Strahlen, Grundieren)

Tabelle 2.2 Prüfung der Anfrageunterlagen auf Vollständigkeit nach [25]

Notwendige Merkmale sind jene Merkmale, welche wesentlich die Festlegung der Technologie eines Gussteiles und damit die Herstellkosten und Qualität beeinflussen. Gewünschte Merkmale sind nicht zwingend durch den Kunden vorzugeben. Sie werden bei Bedarf anhand der notwendigen Merkmalen abgeleitet [26], [27].

In [25] werden die in **Tabelle 2.2** dargestellten Merkmale als Bestandteile einer Checkliste zur Prüfung der Anfrageunterlagen auf Vollständigkeit aufgeführt.

2.3.2 Verwendung von Zeitwerttabellen

Vergleichskalkulationen zeigen nicht nur, dass Preisdifferenzen durch die unterschiedlichen Herangehensweise der Gießereien begründet sind, sondern, dass immer wieder unternehmenseigene Kalkulationsfaktoren¹ zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Die Gussteilherstellung unterliegt einer Vielzahl von Einflussfaktoren, welche sich bereits im Angebot widerspiegeln. Wichtige Basisinformationen zur Kalkulation sind zuverlässige Fertigungszeiten. Diese können z.B. über Data-Mining-Methoden bei vorhandener elektronischer BDE-Erfassung für bestimmte Gussteilmerkmale ermittelt oder mittels Zeitaufnahmen bestimmt werden.

Verschiedene Gießereien erfassen die betriebsspezifischen Einflussgrößen in Zeitwerttabellen. Die Gesamtkalkulation erfolgt hier zeitbasiert. Jede Einflussgröße wird dazu über Formelansätze, Diagrammdarstellungen oder entsprechende Zeitwerttabellen auf einen erforderlichen Zeitbedarf umgerechnet. Die Wichtung von z.B. Schwierigkeitsgrad, Toleranzen, Oberflächengüte oder die Verwendung von Mehrfachformen wird in die Gesamtberechnung durch Produktbildung der einzelnen dafür vorgesehenen Faktoren berücksichtigt [28]. Im **Bild 2.8** wird ein Beispiel für die Ermittlung des Zeitbedarfes zum Aufbau einer Druckgießform aus einem Diagramm dargestellt. (Beispiele für Kernformzeiten: Siehe **Anlage 2 Bild 9.1**)

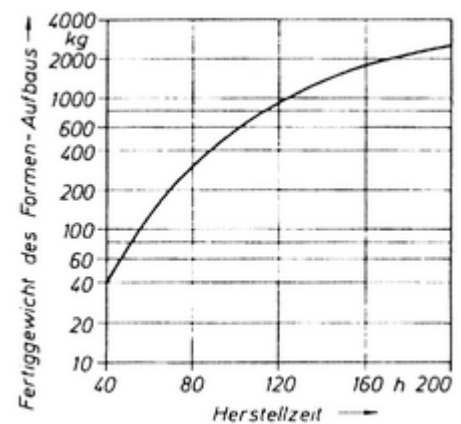


Bild 2.8 Zeitbedarf beim Herstellen einer Druckgießform [28]

2.3.3 Berücksichtigung von Metallpreisschwankungen

Neben Zeiten gehen in die Kalkulation von Gussteilen ebenfalls verschiedene Mengen ein. Dabei handelt es sich um Formstoff-, Kernformstoff und Metallmengen (Zusammensetzung der Schmelze). Während sich die Preisbildung auf der Basis der Zeitkalkulation aufgrund von mittelfristig konstanten Kostensätzen relativ einfach darstellt, unterliegen die Preise bei Metallen zum Teil erheblichen Schwankungen. Bei der Angebotserstellung wird vom aktuellen Metallpreis ausgegangen. Eine Nachverhandlung mit dem Kunden aufgrund eines kurzfristig gestiegen Metallpreises ist nur selten möglich. Für die Preisbildung bei Folgeaufträgen hat die Einführung des Metallteuerungszuschlages (MTZ) bzw. des Metallteuerungsabschlages (MTA) für die Gießerei eine Bedeutung. Diese Verfahrensweise erspart der Gießerei eine vollständige „Neu“-Kalkulation bei Metallpreisänderungen. MTZ und MTA ergeben sich aus der

¹ Erklärung: das jeweilige Zeit- und Mengengerüst, diverse Zuschläge, Einflussgrößen auf die Zeitermittlung, u.a.m.

Blockpreisdifferenz des Metallpreises und einem Zuschlag für metallabhängige Kosten (Rohgewicht zuzüglich Angüsse, Speiser, Trichter und Ausschuss). Dazu werden in der Regel metallspezifische Prozentsätze verwendet, die im Einzelfall zu prüfen und aktualisieren sind [29].

2.4 Maßnahmen für eine effektive Angebotserarbeitung

Eine kurzfristige Bearbeitung einer Anfrage kann für die mögliche Erteilung eines Auftrages von großer Bedeutung sein. Aus diesem Grund ist eine zügige und verlässliche Angebotserstellung ein Wettbewerbsfaktor für die Gießerei. So machen sich neben den im **Abschnitt 2.2** angeführten Hilfsmitteln weitere Überlegungen und Methoden erforderlich, die dem Planer im Angebotserarbeitungsprozess als Entscheidungshilfen dienen. In der Literatur werden sowohl pragmatische Differenzierungsstrategien als auch rechnergestützte Lösungen dazu angeführt.

2.4.1 Angebotsbewertung und Differenzierung von Angebotsarten

Es soll zunächst auf die Arten einer Anfrage und folglich eines Angebotes auch im Hinblick auf die Kundenbeziehung eingegangen werden. Kann das zu erarbeitende Angebot einer Kategorie zugeordnet werden, ist möglicherweise eine Aufwandsreduzierung zu erreichen. In [30] werden dazu eine Staffelung der Angebotsdetaillierung in Kontakt-, Richt-, und Festangebot angeführt. Wird schon aus dem Umfang und Inhalt der Anfrageunterlagen ersichtlich, dass es sich nur um eine Anfrage zur Preisorientierung und nicht um einen konkreten Gussteilbedarf handelt, wird in der Regel kein detailliertes Angebot erarbeitet. Bei vollständigen Anfragedaten wird in einer Kontaktaufnahme mit dem Kunden geprüft, welcher Bedarf des Kunden vorliegt. Auf diese Weise ist eine Einordnung der Art des zu erstellenden Angebotes möglich und der Planer kann den Aufwand besser planen.

Die Angebotserarbeitung für einen interessierten Neukunden wird in der Regel mit einem anderen Aufwand gehandhabt als die Anfrage eines Kunden, zu dem schon langjährige Kundenbeziehungen bestehen.

Eine gezielte und klare Kommunikation zur möglichst vollständigen Übermittlung der erforderlichen Informationen zwischen Kunde und Gießerei unterstützt eine schnelle und präzise Angebotserarbeitung [31].

2.4.2 Ähnlichteilsuche aus durch Nachkalkulation gesicherter Datenbank

Die Ähnlichteilsuche erweist sich auch ohne Rechnereinsatz als ein bewährtes Instrument für eine effiziente Kalkulation. Mit dem Einsatz von Rechentechnik gewinnt sie zunehmend

an Bedeutung. Voraussetzungen sind eine geeignete Archivierung und damit verbundene Wiederauffindbarkeit der Daten als Basis einer Ähnlichteilkalkulation. Derzeit basiert die Ähnlichteilsuche oft noch auf dem Erinnerungsvermögen und der Erfahrung des Arbeitsvorbereiters. Rechnergestützte Suchmechanismen nach verschiedenen Kriterien sind bisher nur in Ansätzen vorhanden. Typische Suchkriterien in PPS-Systemen stellen Gussteilbezeichnungen, Modellnummern und Kundenbezeichnungen dar.

Beispielhafte Vertreter solcher PPS-Lösungen sind die in **Tabelle 2.1** verglichenen Programme oder das infra-Betriebsführungsprogramm [32].

Im **Abschnitt 3** wird ausführlich auf weitere Methoden und softwaretechnische Lösungen zur Durchführung einer Ähnlichteilsuche eingegangen.

2.5 Zusammenfassender Vergleich von Hilfsmitteln in der Angebotserarbeitung

Die dargestellten Hilfsmittel und Methoden der Arbeitsvorbereitung, verdeutlichen den gegenwärtigen Stand der Unterstützung des Planers bei der Erstellung von Angeboten. In der **Tabelle 2.3** werden die Vor- und Nachteile der Methoden und Hilfsmittel noch einmal zusammenfassend gegenüber gestellt.

Methoden / Hilfsmittel	Vorteile	Nachteile
ERP – Systeme (PPS – Systeme)	<ul style="list-style-type: none"> - homogene Datenbasis im Konstruktions-, Planungs- und Fertigungsprozess - integrierte Nachkalkulation als Basis für Ähnlichteile - betriebswirtschaftliche Vorteile bei der Planung von Kapazitäten (Lieferterminbestimmung) 	<ul style="list-style-type: none"> - keine geeignete Ähnlichteilsuche Suche erfordert subjektives Erfahrungswissen - keine nutzergeführte Variantenkalkulation/ Anpassungskalkulation für Gussteile bekannt
Zeitwerttabellen	<ul style="list-style-type: none"> - betriebspezifische Lösung - basierend auf innerbetrieblichem Erfahrungswissen 	<ul style="list-style-type: none"> - setzen technologische Vorüberlegungen voraus - nur als Überschlagskalkulation geeignet - nur als zusätzliches Hilfsmittel verwendbar
Numerische Simulationen	<ul style="list-style-type: none"> - vor Gussteilherstellung können qualitätsbestimmende Einflussfaktoren variiert werden - frühzeitiges Erkennen und Ausschließen von möglichen Fehlerquellen - Einsatz auch während der Produktionsphase erleichtert eine Fehlerbehebung 	<ul style="list-style-type: none"> - meist nur für Serienfertigung wirtschaftlich - hohe Investitionskosten (Software) - hohe Anforderungen an PC-Hardware - personelle Voraussetzungen (Weiterbildung)
Checklisten	<ul style="list-style-type: none"> - Vollständigkeit der erforderlichen Daten gewährleistet - Übersicht des Gesamtfertigungsprozesses - für Bearbeitung durch mehrere Personen gut geeignet 	<ul style="list-style-type: none"> - nur als Kontrollhilfsmittel verwendbar - weitere Hilfsmittel (sowohl für Kalkulation, als auch für Technologie) erforderlich
Ähnlichteilkalkulation	<ul style="list-style-type: none"> - Nutzung des innerbetrieblichen und allgemeinen Erfahrungswissens - Wegfall von Routinearbeiten bei der Dateneingabe - Zeitersparnis bei der Kalkulation - geringes Kalkulationsrisiko bei nachkalkulierten Ähnlichteilen 	<ul style="list-style-type: none"> - Voraussetzung sind umfangreiche und vollständiger Datenbestände - Vererbung von früheren Fehleinschätzungen - setzt hohes Erfahrungswissen voraus - keine Unterstützung des Nutzers bei Anpassung der Kalkulation - Fehlen geeigneter Klassifikationen und Suchmethoden / -strategien zum Auffinden der Ähnlichteile

Tabelle 2.3 : Vergleich zum Einsatz unterschiedlicher Methoden und Hilfsmittel in der Arbeitsvorbereitung

3. Stand der Technik – Nutzung des Prinzips der Ähnlichkeit

In allen Wissenschaftsgebieten nutzt man Ähnlichkeitsvergleiche zur Wissensgewinnung. So existieren

- mathematische / geometrische Ähnlichkeiten,
- technologische Ähnlichkeiten,
- funktionelle Ähnlichkeiten oder auch
- biologische und physikalische Ähnlichkeiten.

Der Begriff der Ähnlichkeit ist umgangssprachlich ein Synonym [33] für:

verwandt, vergleichbar, gleichartig, entsprechend, übereinstimmend oder auch artgemäß.

In verschiedenen Lexika wird der Ähnlichkeitsbegriff auch mit Gleichheit in Form bzw. Gestalt beschrieben. Er wird somit oft auch im Zusammenhang mit vergleichbarem Aussehen oder noch allgemeiner mit vergleichbaren Eigenschaften, mit der Übereinstimmung in den wesentlichen Merkmalen verwendet. Hieran wird deutlich, dass die Verwendung des Ähnlichkeitsbegriffes für eine wissenschaftliche Betrachtung eine exakte Definition der Merkmale voraussetzt.

Aus der Definition des Ähnlichkeitsbegriffes (zweckdienlicher, wesentlicher Merkmale) resultieren Klassifikationen beispielsweise für die Fertigungstechnik. Die Anwendung von Klassifikationsschlüsseln und damit die Gruppierung von Bauteilen reichen jedoch oft nicht für eine Ähnlichteilsuche aus. Es machen sich auch Methoden zum Auffinden von Ähnlichteilen notwendig.

Mit der Untersuchung der Ähnlichkeit von Bauteilen hat sich bereits eine Vielzahl von Autoren befasst. Je nach Ziel der zu realisierenden Aufgaben werden relevante Bauteilmerkmale definiert, welche eine Zuordnung der Bauteile zu ähnlichen Gruppen ermöglicht. Typische Gruppierungen erfolgen beispielsweise auf der Basis:

- ähnlicher Werkstofflegierungen zur Chargenkomplettierung in der Gießerei,
- ähnlicher Abmessungen und Formelemente (z.B. zur Bildung von Typenprozessen),
- ähnlicher technologischer Basen und zu bearbeitender Formelemente (z.B. zur Entwicklung von Gruppenspannvorrichtungen für die mechanische Bearbeitung und zur Gruppenbearbeitung),
- ähnlicher zu prüfender Formelemente zur Anwendung und Entwicklung standardisierter Prüfelemente u.a.m.

Ziel von Ähnlichkeitsbetrachtungen ist häufig die Rationalisierung einzelner Fertigungsschritte im Fertigungsprozess bzw. komplexer Abläufe durch Reduzierung von Rüstzeiten, Werkzeugkosten, sowie Planzeiten und damit die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens. In sofern sind die Suche und das Erkennen von Ähnlichkeiten auch als ökonomische Faktoren zu sehen.

3.1 Ähnlichkeit von Bauteilen

Ähnlichteile nehmen einen breiten Raum in der industriellen Fertigung ein. Analysen zufolge handelt es sich bei ca. 75% aller Bauteile um Ähnlichteile [35]. Aus diesem Grund wird die Ähnlichteilsuche im Rahmen der Angebotserarbeitung zu einem wirtschaftlichen Faktor. Im Zuge der Prüfung der Realisierbarkeit und der Entscheidung für technisch zweckmäßige und wirtschaftlich günstige Fertigungsmittel wird stets eine Ähnlichteilsuche durchgeführt (**Bild 3.1**). Diese erfolgt konventionell meist im Kopf des Arbeitsvorbereiters und mit Hilfe von archivierten Aufzeichnungen. Die Berufserfahrung ist hierbei von entscheidender Bedeutung.

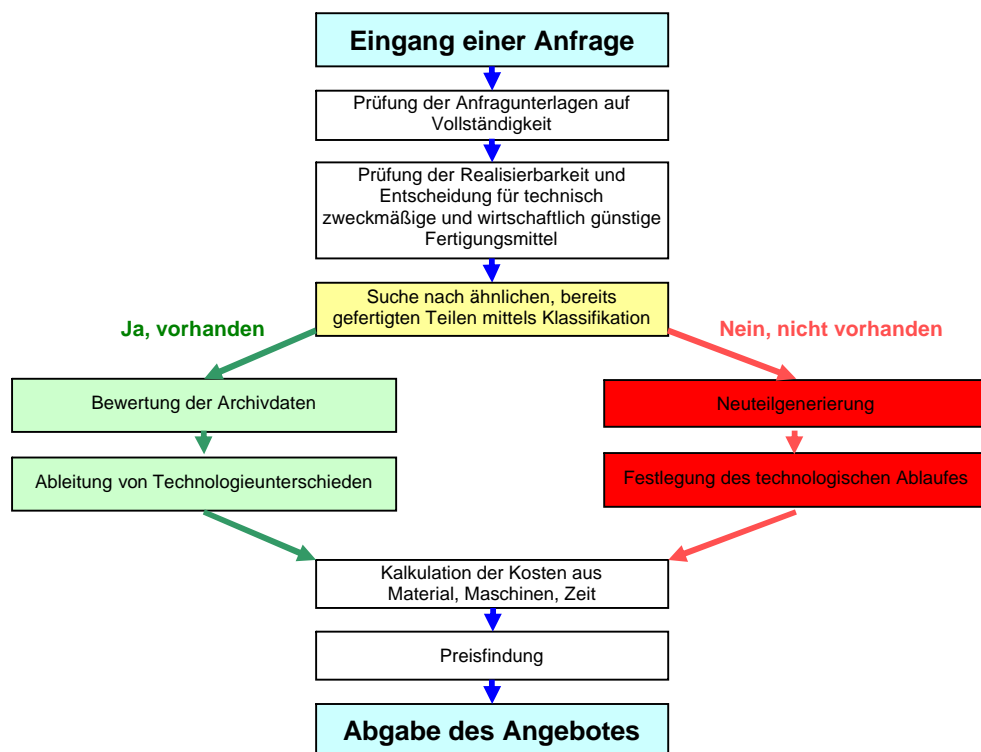


Bild 3.1 Integration der Ähnlichteilsuche in die Angebotsphase nach [36]

Der Begriff der Teileähnlichkeit ist von vielen Faktoren abhängig und dies im Besonderen bei Gussteilen. Es werden Ähnlichkeitsbetrachtungen im Hinblick auf Geometrien, Werkstoffe und auf damit verbundene Technologien erforderlich. Die grundlegende Unterscheidung der Gießverfahren in Verfahren mit verlorenen Formen und Dauerformverfahren (Druckguss und Kokillenguss) sind in dem Zusammenhang differenziert zu betrachten. Unter Beachtung des in **Anlage 2 Tabelle 9.1** angestellten Vergleiches zwischen dem Sandguss- und Druckgießverfahren wird zum einen deutlich, wie unterschiedlich sich die Bedingungen der beiden ausgewählten Gießverfahren darstellen und zum anderen, wie viele Einflussfaktoren auf die Betrachtung eines Gussteiles wirken.

Im Zeitalter der Computertechnik werden viele Routinearbeiten vom PC übernommen und damit objektiviert. Voraussetzung für einen effizienten Einsatz dieses Hilfsmittels ist jedoch eine durchgängige Digitalisierung und die ständige Pflege des Datenbestandes. Des Weiteren ist der Einsatz progressiver Software von Nutzen, die in der Lage ist, entweder strukturiert Klassifizierungsmerkmale auszuwerten oder wissensbasiert danach zu suchen. Dazu ist es erforderlich, technologierelevante Gussteilmerkmale zu ermitteln und anhand derer die Bauteile zu klassifizieren¹. Dabei ist der Ähnlichkeitsbegriff auf folgende drei Bereiche anzuwenden:

- geometrische Ähnlichkeit,
- Ähnlichkeiten bezüglich Materialeigenschaften und –verhalten und
- technologischen Ähnlichkeiten.

3.1.1 Geometrische Ähnlichkeit von Bauteilen

Der Begriff der geometrischen Ähnlichkeit ist zunächst klar durch eine mathematische Definition festgelegt:

„In der Geometrie sind zwei Figuren zueinander ähnlich, wenn sie durch eine Ähnlichkeitsabbildung (eine geometrische Abbildung, die sich aus zentrischen Streckungen und Kongruenzabbildungen zusammensetzen lässt) ineinander überführt werden können“ [37].

Im engen Zusammenhang mit dem mathematischen Ähnlichkeitsbegriff steht in der Technik die Anwendung der Modellgesetze. Durch maßstäbliche Verkleinerungen (z.B. in der Luftfahrttechnik) ist es beispielsweise möglich, experimentell Vorgänge und Verhalten von sehr großen Objekten zu untersuchen oder auch durch maßstäbliche Vergrößerungen (z.B. in der Nanotechnik), Prozesse und Funktionsmechanismen sehr kleiner Objekte zu veranschaulichen. Es ist in dieser Form der Ähnlichkeitsbetrachtung von entscheidender Bedeutung, ob es sich um kleine oder große Objekte handelt. Während bei großen Maschinen Festigkeit, Abnutzung, Wärmedehnung, Kühlung und Beschleunigung besondere Probleme darstellen, spielen bei kleinen Maschinen der Wirkungsgrad, die Reibung und Genauigkeit eine besondere Rolle [38].

Letztlich stellen die Modellgesetze eine unmittelbare Anwendung der geometrischen Ähnlichkeit mit dem Ziel einer physikalischen (technischen) Vergleichbarkeit dar. Aber auch hier werden die Grenzen selbst bei maßstäblichen Abbildungen, also Ähnlichkeit im unmittelbar mathematischen Sinne (auf zentrischer Streckung basierend) deutlich.

¹ Klassifizieren: Einteilen und Einordnen einer Menge von Objekten in Klassen, wobei die Zuordnung aller Objekte der gegebenen Menge möglich sein muss. Klassen einer Klassifizierungsebene müssen sich mindestens um ein Merkmal unterscheiden [34].

Abgesehen davon, dass sich die mathematische Definition der Ähnlichkeit schwerpunktmäßig auf ebene Figuren bezieht (aber auch auf Körper anwendbar ist), stellt ein Bauteil meist ein sehr komplexes Gebilde aus verschiedenen Grundkörpern dar. Wenn auch die mathematische Definition der Ähnlichkeit auf jeden einzelnen Teilkörper anwendbar ist, stimmt sie jedoch nicht in jedem Fall auch für den Gesamtkörper. Hieraus allein wird die Komplexität des Ähnlichkeitsbegriffes deutlich. Es ergibt sich die Notwendigkeit von möglichst klaren Kriterien für eine Teileähnlichkeit mit dem Ziel der Wiederverwendbarkeit von technologischen Daten in der Arbeitsvorbereitung.

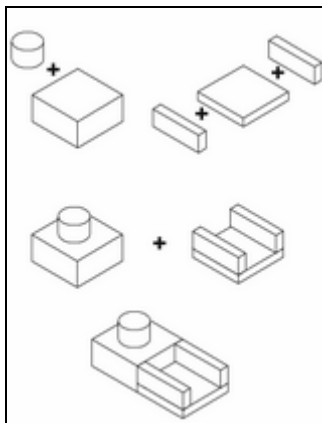
Für den Aufbau einer Systematik, ein Bauteil nach geometrischen Ähnlichkeitskriterien zu klassifizieren, ist eine Zerlegung des Gesamtkörpers in die wesentlichen geometrischen Grundkörper erforderlich. Vergleichbare Überlegungen sind in [39] angestellt worden.

Hierbei sind wiederum zwei Methoden anwendbar:

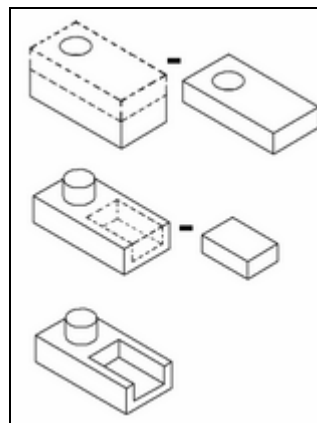
1. die Methode der Addition von Grundkörpern und
2. die Methode der Subtraktion von Grundkörpern

Im **Bild 3.2** sind diese beiden Methoden am gleichen Bauteil veranschaulicht.

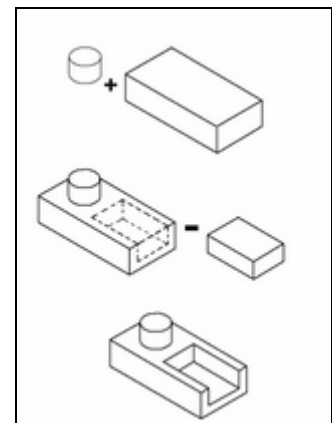
Bei jeglicher CAD-Software basiert die Konstruktion eines Bauteiles grundsätzlich auf diesen beiden Grundmethoden. Bei der Konstruktion ein und desselben Teils durch verschiedene Konstrukteure wird dennoch selten auch eine identische Konstruktionshistory (Reihenfolge und Art der Konstruktionsschritte) vorzufinden sein, was eine Ähnlichkeitssuche erschwert.



(A) Addition von Grundkörpern



(B) Subtraktion von Grundkörpern



(C) Kombination aus (A) und (B)

Bild 3.2 Zerlegung eines Bauteils in Teilkörper

Die Veranschaulichung macht bereits an diesem einfachen Bauteil deutlich, zu welchen unterschiedlichen Teilkörpern die Anwendung der Methoden führen kann.

Werden nun formell nur die Einzelteile im Vergleich zu den Einzelteilen eines anderen Bauteils auf Ähnlichkeit untersucht, lassen festgestellte geometrische Ähnlichkeiten der Einzelkörper noch keinen Rückschluss auf eine geometrische Ähnlichkeit der beiden

Bauteile zu. Im **Bild 3.3** liegt beispielsweise trotz der Übereinstimmung der Grundkörper beider Bauteile offensichtlich keine Ähnlichkeit der beiden Gesamtbauteile vor.

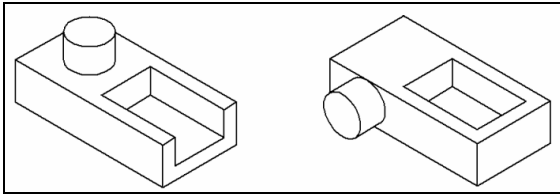


Bild 3.3 Ähnlichkeitsbetrachtungen eines Bauteils

Damit wird deutlich, dass nach der Zerlegung des Gesamtbauteils in die Bestandteile von Teilkörpern (Grundformen) auch Lagebeziehungen und Größenverhältnisse zueinander, in die Ähnlichkeitsbetrachtungen zu anderen Bauteilen einzubeziehen sind.

3.1.2 CAD-Systeme als Hilfsmittel bei Ähnlichkeitsbetrachtungen

Für die schnelle Beurteilung eines angefragten Teils ist die Visualisierung von Vorteil. Aus diesem Grund ist die Übermittlung von 3D-Konstruktionen bei einer Anfrage vorteilhaft. Die Palette der möglichen CAD-Programme ist sehr umfangreich. Für den allgemeinen Maschinenbau seien hier einige Beispiele aufgezählt: AutoCAD, Catia, Cadkey, HiCAD, Inventor, IronCAD, LogoCAD, MegaCad, Microstation, Rhinoceros, Solid Edge, Solid Works, VECTOR [40]. Für die meisten dieser Systeme werden zusätzliche Module für anwendungsspezifische Funktionen angeboten.

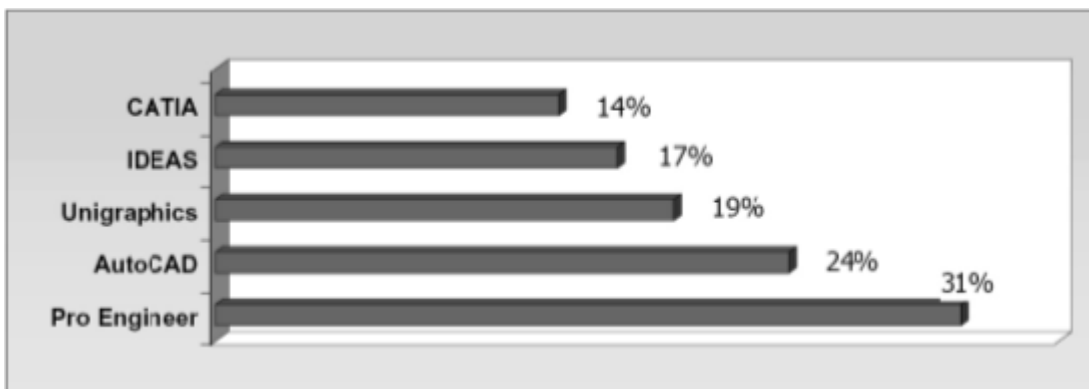


Bild 3.4 Verbreitungsgrad von CAD-Software in der Industrie – Stand 2001 [41]

Auch die direkte Nutzung von CAD-Systemen für die Ähnlichkeitsuche wird in [42] auf Basis einer rechnerunterstützten Konstruktion beschrieben. Auf der Basis von Punktwolken (z.B. aus Messmaschinen) kann ein gefertigtes Bauteil mit einer 3D-Konstruktion oder auch zwei Konstruktionen miteinander verglichen werden [43]. In [44] und [45] werden Vorschläge zur Nutzung von Datenbanken auf der Basis von CAD-Daten zur Untersuchung von Ähnlichkeiten vorgestellt.

Allerdings ist der Ausstattungsgrad in der deutschen Industrie mit CAD-Software im internationalen Vergleich relativ gering. 40% der Grossbetriebe (mehr als 1000

Beschäftigte im Maschinenbau) setzen CAD/CAM ein, aber nur 5% der Klein- und Mittelbetriebe [46].

Hinzu kommt, dass Kunde und Gießerei selten über das gleiche System verfügen (ausgenommen Zulieferer der Automobilindustrie). In zahlreichen Gießereien wird aus personellen und Kostengründen sogar noch gänzlich auf den Einsatz von derartiger Software verzichtet und klassisch die Anfragebearbeitung auf der Basis einer Papierzeichnung vorgenommen.

Die unterschiedlichen Datenformate der Anwendungen stellen für den Datenaustausch in der Regel kein Problem mehr dar. Konvertierungsprogramme und 3D-Viewer, wie z.B. SpinFireReader oder 3D-Convert von Warmuth ermöglichen es, nahezu alle gängigen 3D-Daten ineinander umzuwandeln [46], [47]. Die Entwicklung lässt sogar teilweise die Konvertierung der Konstruktionshistory zu, was für eine rechnergestützte Ähnlichkeitbetrachtung im geometrischen Sinne dienlich ist.

In [48] werden gängige CAD-Anwendungen aus gießereitechnischer Sicht verglichen. Obwohl die Einschätzung von 1995 stammt wird deutlich, dass sich im Bereich der CAD-Software zwei Trends abzeichnen.

1. Weiterentwicklung von CAD-Anwendungen für einen universellen Einsatz.
2. Entwicklung von Branchenlösungen durch den Aufbau von modularen Softwarelösungen, die einzeln angewendet oder kombiniert werden können.

Aus gießereitechnischer Sicht sollten nach [48] folgende Aspekte integriert sein:

- Berücksichtigung von Verrundungsflächen, Schwindungsberechnungen, Verarbeitung von analytische nicht beschreibbaren Flächen, Negativmodellierung, Verrunden und Fasen von Ecken und Kanten,
- Generierung von Schnitten an beliebigen Stellen (zur Modellteilung),
- Featurebasierte Bearbeitung von gießereitechnischer Aufgaben,
- Überarbeitung der Konstruktion zur Generierung von Modell und Kernkasten,
- Aufarbeitung der CAD-Daten für eine Einformskizze (Einformlage) sowie
- Vorhandensein von Berechnungsfunktionen (z.B. Volumen, Oberflächen).

Hinzu kommen noch weitere allgemeine Anforderungen, wovon hier nur das Korrespondieren des Systems mit externen Datenbanken und die Verwendung von Makros angeführt werden soll.

Die aufgezählten Merkmale lassen deutlich werden, wie speziell einige Anforderungen an eine für die Gießerei angepasste CAD-Software sind. Diese Betrachtung zielt auf die Generierung des Rohteils aus vorhandenen Fertigteildaten. Beim heutigen Stand der Softwareentwicklung kann eingeschätzt werden, dass diese Anforderungen von zahlreichen CAD-Systemen auch unter Betrachtung der Bereitstellung von

entsprechenden Modulen erfüllt werden.

Trotz der großen Vielfalt von gießereitechnisch, verwendbaren CAD-Programmen ist keines für eine Ähnlichteilsuche aus technologischer Sicht verwendbar.

In [49] und [50] werden vielmehr vom CAD-System unabhängig verwendbare Lösungen für eine geometrische Ähnlichteilsuche vorgestellt. Durch die Verwendung von Neutralformaten, die in fast allen gängigen CAD-Programmen als Export möglich sind (z.B. JT, VRML oder STL), wird eine Ähnlichteilsuche unabhängig vom System, der Sprache oder dem Speicherort, sogar kombinierbar mit herkömmlichen Suchkriterien, möglich. Mit dem in [50] vorgestellten Programm „Geolus Search“ lassen sich die Ergebnisse zusätzlich grafisch darstellen und sortiert nach beliebigen Kriterien, beispielsweise nach geometrischer Ähnlichkeit oder nach Größenabweichung ausgeben. Allerdings wird hier nur die geometrische, nicht aber die technologische Ähnlichkeit zweier Gussteile berücksichtigt. Außerdem setzt die Nutzung derartiger Lösungen den Umgang mit 3D-Daten voraus, was in vielen Gießereien noch nicht vorausgesetzt werden kann.

3.1.3 Technologische Ähnlichkeit in Abhängigkeit vom Fertigungsverfahren

Von der Relevanz bezüglich einer effizienten Planung sind neben dem Vergleich der geometrischen Ähnlichkeit von Bauteilen deren Materialeigenschaften und die sich daraus ergebenden fertigungstechnischen Konsequenzen.

Die technologische Ähnlichkeit kann im Gegensatz zur geometrischen Ähnlichkeit nicht losgelöst vom Fertigungsverfahren betrachtet werden, da je nach Herstellungsprozess unterschiedliche Merkmale des Werkstoffes und der Gestalt verändert werden.

Sokolovski formulierte im Jahr 1936 erstmalig das konstruktiv-technologische Ähnlichkeitsprinzip [51]. Dieses beinhaltet die konsequent zu nutzende Erkenntnis, dass sich konstruktiv ähnliche Teile auch nach ähnlichen Fertigungsprozessen herstellen lassen [34]. Das Gruppieren von Teilen nach konstruktiven und fertigungstechnischen Gemeinsamkeiten ist demzufolge schon seit geraumer Zeit Basis für verschiedene Rationalisierungsmaßnahmen.

Eversheim widmete sich in [52] ebenfalls der geometrisch-technologischen Ähnlichkeit. So schlug er für den Begriff der Teilefamilien folgende Differenzierung vor:

1. Gestaltfamilie:

Gruppen von Teilen, die bezüglich ihrer Gestalt ähnlich sind.

2. Fertigungsfamilien:

Gruppen von Teilen, die bezüglich fertigungstechnischer Anforderungen gleich oder ähnlich sind.

3. Fertigungsablauffamilie:

Gruppen von Teilen, die bezüglich ihrer fertigungstechnischen Anforderungen und der Arbeitsvorgangsfolge ähnlich sind [34].

In der **Tabelle 3.1** werden die unterschiedlich ablaufenden Vorgänge der Geometrie- und Stoffänderung exemplarisch für drei Verfahrenshauptgruppen der Fertigungstechnik gegenübergestellt [53].

Spanungstechnik	Umformtechnik	Urformtechnik
Mechanische Bearbeitung zur Formänderung durch das Entstehen von formlosem Stoff	Bildsame (plastische) Formänderung eines festen Körpers	Schaffung einer festen Form durch Aggregatzustandsänderung
Aussondern von Stoffteilchen	Umlagern von Stoffteilchen	Neuordnung der Stoffteilchen
Trennen benachbarter Teile	Masse und Zusammenhalt des Werkstoffes bleiben erhalten	Änderung des Aggregatzustandes des Werkstoffes

Tabelle 3.1

Gegenüberstellung der Vorgänge der Geometrie- und Stoffänderung in Abhängigkeit vom Fertigungsverfahren [53]

Unter Beachtung der Besonderheiten der unterschiedlichen Fertigungsverfahren und damit der Technologie finden sich in der Literatur sehr differenzierte Herangehensweisen zur Bildung von Teilefamilien.

Um weiterhin zu verdeutlichen, wie differenziert die Formulierung der Ähnlichkeit in Abhängigkeit vom Fertigungsverfahren zu betrachten ist, sollen Quellen aus verschiedenen Fertigungsbereichen aufgeführt werden.

➤ **Ähnlichkeit in der Spanungstechnik**

Wichtige Kriterien für das Zusammenführen von Werkstücken in Werkstückgruppen für die spanende Bearbeitung sind neben der Einsatzmöglichkeit der gleichen Fertigungseinrichtung, die einheitlichen Lösungen des Werkstückspan-Problems, einheitliche Arbeitswerte, Maschineneinstellungen und gruppenspezifische Werkzeugsätze [34].

In der Spanungstechnik kommen inzwischen selbst für eine Kleinstserienproduktion leistungsstarke CAD/CAM-Systeme zum Einsatz. Wiederholfertigung wird auch bei geringen Losgrößen wirtschaftlich vertretbar, wenn eine gezielte Variantenfertigung verfolgt und umgesetzt wird. Durch den Einsatz auftragsbezogener CAM-gestützter NC-Fertigung können sogar Kostenvorteile analog der Serienfertigung erzielt werden.

Dazu ist die Bildung von Teilefamilien mit ergiebigem Gleichheitsumfang nicht nur nach funktioneller Ähnlichkeit, sondern auch nach fertigungstechnischen Gesichtspunkten erforderlich. Die reinen CAD-Daten reichen nicht aus, um das erforderliche Werkstückmodell im CAM-System abzubilden. Ergänzend ist die Übermittlung oder

Bestimmung von geeigneten Prozessparametern für die Bearbeitung unterschiedlicher Werkstoffvarianten erforderlich. In [54] wird dazu auf das optimale Zusammenspiel der Softwarekomponenten EXA-FDO, EXA-BMV, EXA-TDV und EXA-DNC im NC-Programmiersystem „Exapt“ verwiesen. Dabei werden CAD-Daten aus der Fertigung einzelner Pumpenteile durch „Drehen“ und „Bohren“, die nach Teilefamilien klassifiziert wurden, in das Softwaresystem eingepflegt und stehen dann nicht nur für eine Wiederholfertigung, sondern auch zur Kombination mit anderen Baugruppen zum Aufbau eines Pumpensystems nach Kundenwunsch zur Verfügung. Diese können auch als Technologiefeatures angesehen werden.

Im **Bild 3.5** ist die Bildung einer Teilefamilie nach technologischen Ähnlichkeitskriterien am Beispiel eines Membranpumpenkörpers dargestellt. Die unterschiedliche Parametrisierung der Drehteile in der ersten Bearbeitungsstufe und die der Bohrungen in der zweiten Bearbeitungsstufe spielen fertigungstechnisch keine entscheidende Rolle. Diese können über die NC-Programmierung problemlos variiert werden.

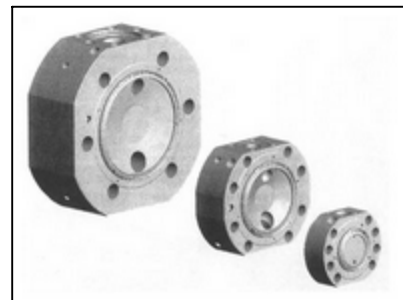


Bild 3.5 Teilefamilie „Membranpumpenkörper...“ [54]

Fazit: Die CAD-Konstruktionen werden aus Technologiefeatures ähnlicher Pumpenteile aufgebaut und führen so zu einer effizienten NC-Programmierung.

➤ **Ähnlichkeit in der Umformtechnik**

Für die umformenden Verfahren wurden ebenfalls verschiedene Klassifizierungssysteme entwickelt. Nachfolgend wird repräsentativ auf ein Klassifizierungssystem für Schmiedeteile eingegangen. Es handelt sich dabei um die Formenordnung nach Schmieder (von 1988), welche jedem Schmiedeteil einen sechsstelligen alphanumerischen Code zuordnet [55]. Der Code beschreibt ausschließlich geometrische Eigenschaften. Es erfolgt zunächst eine Klassifizierung nach drei Hauptgruppen

- Rotationsteile,
- Grundformteile (Teile mit einer deutlich dominanten Grundform) sowie
- Kombinationsteile (gedanklich in mehrere Teile zerlegbarer Körper).

Weitere Merkmale mit Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Produktion müssen hinsichtlich der Betrachtung von Ähnlichkeiten hinzugezogen werden können, wie z.B.

- Nebenformelemente (Quellen und Senken) im Schmiedeteil,
- die Losgröße,
- der Werkstoff,
- die Qualität des zu fertigenden Schmiedeteiles oder

- das Einsatzgewicht.

Grundsätzlich wird der Grad der Teileähnlichkeit nach dem im **Bild 3.6** dargestellten

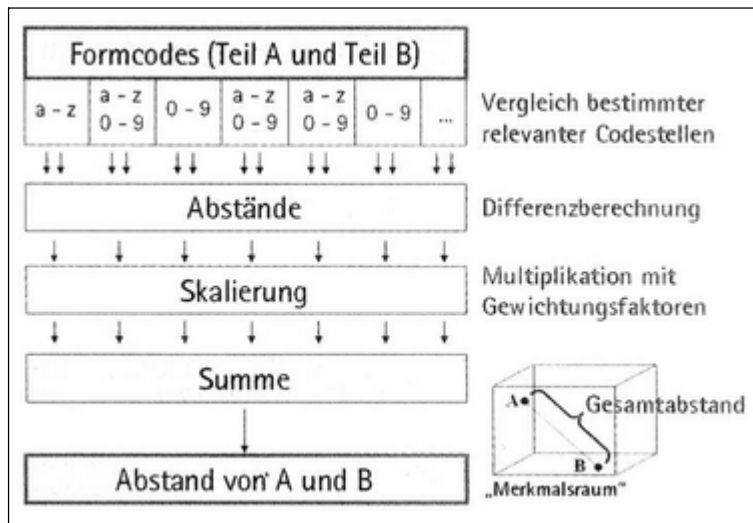


Bild 3.6 Schematische Darstellung des Recherchemoduls [55]

Schema ermittelt. Von Vorteil ist es, wenn der Planer die Möglichkeit hat, spezifische Übereinstimmungsmerkmale für eine Ähnlichkeitsüberprüfung auszuwählen. Dazu wird in der mathematischen Auswertung des Formcodes ein Gewichtungsfaktor verwendet.

Ziel dieser Klassifikation ist es, aus einer Vielzahl der von unterschiedlichen Unternehmen gefertigten

Schmiedeteile, jene Ähnlichteile zu ermitteln, deren Form, Entwicklungs- und Prozessdaten auf ein neu zu fertigendes Schmiedeteil zu übertragen sind [55]. Eine solche überbetriebliche Klassifikation stellt die Grundlage für den Aufbau einer Produktdatenbank und für die Entwicklung eines Recherchemoduls für die Suche nach Ähnlichteilen dar.

Eine weitere Formenordnung für Schmiedeteile wird in [56] beschrieben. Sie ist ebenfalls geometrieorientiert. (siehe **Anlage 3 Bild 9.2**) Ein Beispiel für eine Formenordnung für spanend zu bearbeitende Bauteile wird ergänzend in **Anlage 3 Bild 9.3** dargestellt.

➤ **Ähnlichkeit in der Urformtechnik**

Auch für Gussteile können derartige Gruppierungen durch eine Formenordnung erfolgen. In **Anlage 3 Bild 9.4** wird eine solche Formenordnung für Kokillen- und Druckgussteile dargestellt.

Es ist festzustellen, dass Ähnlichkeitsbetrachtungen in der Urformtechnik grundsätzlich nach den gleichen Kriterien (geometrische, stoffliche und technologische) wie bei den beiden anderen Verfahrenshauptgruppen vorgenommen werden. Durch die Besonderheit der Änderung des Aggregatzustandes bei der Formgebung ist des Weiteren, eine Vielzahl von werkstoff-, masse- und volumenabhängigen Parametern in die Ähnlichkeitsbetrachtung einzubeziehen, die technologisch relevant sind.

Hieraus ergeben sich Besonderheiten bei der Durchführung von Ähnlichteilvergleichen. Demnach stellt sich der Ähnlichkeitsbegriff bezüglich der Herstellung zweier Gussteile im Vergleich zu den anderweitig gefertigten Bauteilen (z.B. durch Spanen) differenzierter dar. Neben dem Vergleich der Übernahme von Aushebeschrägen, Schwindmaßen, Bearbeitungszugaben sind des weiteren Kerne, Anschnitt-, Speiser-, Gieß-, Kühl- und

Entlüftungstechnologien bei der Ähnlichkeitsbetrachtung bezüglich ihrer Eignung gegenüberzustellen. Erst nach Klärung der Übernahme der Technologie können Entscheidungen zur Übernahme der Fertigungsausrüstung und Arbeitspläne und damit der Mengen und Zeiten getroffen werden. Insofern sind fertigungstechnische Überlegungen bei der Beurteilung, ob die Modifikation eines bekannten (gut aufbereitet archivierten) Gussteiles zweckmäßig ist, von noch weitreichenderer Bedeutung als bei anderen Prozessabläufen. Zusätzlich ergeben sich auch noch Unterschiede bei der Betrachtung der unterschiedlichen Gießverfahren.

Für die Klassifikation von Gussteilen existieren vier bekannte Methoden nach Malek, Czikel, Rosenberger und nach Pacyna. Diese sollen hier vergleichend vorgestellt werden.

3.1.4 Ähnlichkeitsbetrachtungen durch Klassifikationsverfahren beim Urformen

➤ **Klassifizierung nach Malek** [58]

Bei der Klassifikation von Gussteilen nach Malek findet eine Einteilung der Gussteile nach Hauptgruppe und Gruppe statt. In der Hauptgruppe werden die Außensperrigkeit und die Kernschwierigkeit des Gussteils beurteilt. In die Gruppe geht die Gestalt des Gussteils ein (**Bild 3.7**). Damit ist diese Klassifikation sehr subjektiv.

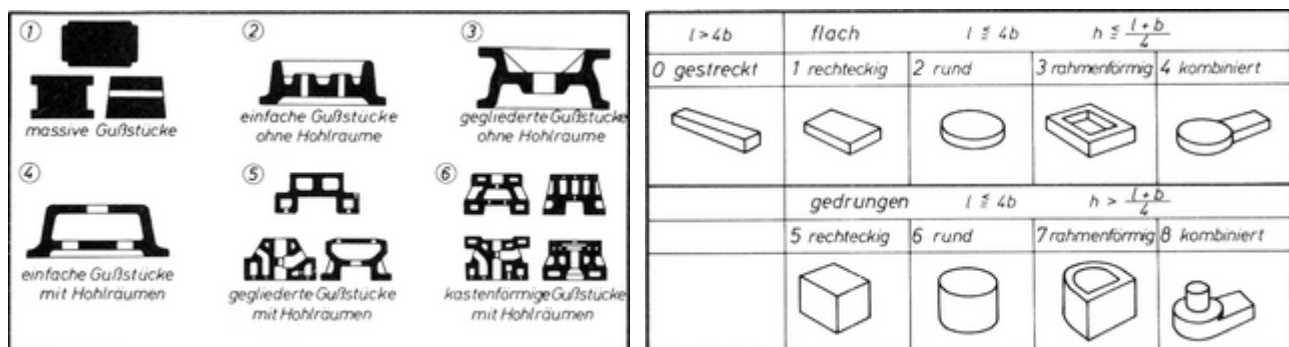


Bild 3.7 Hauptgruppen und Gruppen der technologischen Gussstückklassifikation nach Malek [58]

➤ **Klassifizierung nach Czikel** [59]

Bereits 1966 veröffentlichte J. Czikel in der Fachzeitschrift „Gießerei“ seine Überlegungen zur Klassifizierung von Gussstücken. Die Gruppierung der Gussteile erfolgt anhand technologischer Schwierigkeitsmerkmale und der Gestalt.

Ausgangsbasis der Klassifikation bilden folgende Parameter:

- Volumen,
- Oberfläche und
- Kernvolumina (Volumen der Hohlräume und Aussparungen).

Durch mathematische Verknüpfungen erhält man die Größen: Proportionierung (P_F) und Dimensionierung (P_K). Sie werden aus den Ausgangsgrößen Volumen V , Oberfläche O und Kernvolumen V_K folgendermaßen ermittelt:

$$P_F = \frac{\sqrt[3]{V}}{6 \cdot s} \quad \text{mit } s = \frac{V}{O} \quad \text{bzw.} \quad P_F = \sqrt[3]{\frac{a}{216}} \quad \text{mit } a = \frac{O^3}{V^2} \quad \text{und} \quad P_K = \frac{V_K}{V}$$

Die Schwierigkeitsmerkmale werden auf der Basis eines Koeffizienten, der die spezifischen Abmessungen (Volumen–Oberflächen–Verhältnis) verkörpert, mathematisch ermittelt. Hat ein Körper bei gleichem Volumen im Vergleich zu einem zweiten Körper eine größere Oberfläche so gilt für diesen Körper ein höherer Schwierigkeitsgrad. Ebenso wird die Bestimmung des zweiten Koeffizienten (Kernvolumen–Körpervolumen–Verhältnis) für die Herstellungsschwierigkeit interpretiert. Ein hohes Kernvolumen bei gleichem Körpervolumen führt zu einem höheren technologischen Aufwand. Ein reiner Vergleich von Volumen-Volumen-Verhältnis bzw. Volumen-Oberflächen-Verhältnis führt folglich zu unmittelbaren fertigungstechnischen Aufwandsvergleichen.

Dennoch reichen die dargestellten Überlegungen längst nicht mehr für die effiziente, insbesondere wirtschaftlich relevante Ähnlich- und Wiederholteilbetrachtung aus. Durch den Bezug der angestellten Berechnungen auf die stets erforderlichen und auch durch gängige Konstruktionssoftwarelösungen bereitgestellten bzw. rechnerisch ermittelbaren Basisparameter (Werkstückvolumen, Oberflächeninhalt und Kernvolumen) bieten die formulierten Erkenntnisse dennoch eine gute Basis für eine Entscheidung, ob eine Ähnlichteiluntersuchung für ein angefragtes Teil sinnvoll erscheint oder nicht.

➤ **Klassifizierung nach Rosenberger** [60]

Die Klassifikation nach Rosenberger beruht auf einer technologischen Betrachtungsweise. Zur Klassifikation werden folgende Merkmale herangezogen:

- a) gleiche technologische Schwierigkeitsmerkmale für die Formherstellung,
- b) gleiche technologische Schwierigkeitsmerkmale für die Kernarbeit bei der Formherstellung,
- c) gleiche Merkmale der geometrischen Grundform (Gestalt),
- d) Größe des Formkastens und Anzahl der im Formkasten zu fertigenden Gussstücke,
- e) maßgebliche Wanddicke,
- f) Fertigungsverfahren (Trockenguss – Maskenformguss – chemisch aushärtbare Formen usw.),
- g) Fertigungsart (Hand – Maschine – Kokille usw.),
- h) Werkstoff,
- i) besondere Bedingungen (Gas-, druck-, öldicht, Wärmebehandlung usw.),

- j) Stückzahlen der Gussteilarten (pro Jahr, Quartal, Monat),
- k) Angaben über modelltechnische Bedingungen (Auftragsnummer – ohne Teilung – ebene Teilung – profilierte Teilung – mehrfache Teilung),
- l) Masse des Gusstückes,
- m) verwendete Maschinen und Mechanisierungsgrad.

Als Klassifikatoren werden die unter a) bis c) bezeichneten Merkmale herangezogen. Daraus wird ein dreistelliger Zahlencode aufgebaut, der die Gussteile Hauptgruppen, Gruppen und Untergruppen zuordnet.

ZIG		Technologische Klassifizierung von Gußstücken								Bsp.-Nr. 13
										Ordn.-Nr.
Haupt- gruppe	Gruppe Kernarbeit	Gußstücke ohne Kern	sehr einfache Kerne	mehrere sehr einfache Kerne	einfache Kerne	sehr einfache u. mehrfache Kerne	schwierige Kerne	einfache u. viele schwierige Kerne	sehr schwierige Kerne	einfache, schwierig u. nicht sehr schwierige Kerne
	Formarbeit	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	sehr einfache z.B. konturenarm, Erhebungen und Vertiefungen bei 00 u. 01 bis 5mm bei 02 bis 15mm		1 Kern 	17 Kerne 	2 Kerne 	6 Kerne 	1 Kern 			
	einfache z.B. einfache Kernab- stützung, Erhöh- u. Vertiefung über 5 bis 15mm bis 4 Anstellorte		1 Kern 	4 Kerne 	3 Kerne 	8 Kerne 	1 Kern 	10 Kerne 	7 Kerne 	20 Kerne
	schwierige z.B. Außenkonturen stark gerippt, mehr als 4 Anstell- orte, umfäng- reiche und schwie- rige Kernabstütz- ung		1 Kern 	5 Kerne 	1 Kern 	16 Kerne 	6 Kerne 	16 Kerne 	5 Kerne 	89 Kerne
	sehr schwierige z.B. mehrfache u. schwierige Auß- enkonturen, jedoch sperrig				3 Kerne 	24 Kerne 	8 Kerne 	42 Kerne 	8 Kerne 	192 Kerne

Bild 3.8 Klassifikation nach Rosenberger [60]

Bei der Bildung der Hauptgruppen steht die Gussteilgeometrie im Mittelpunkt. Die Beurteilung der Schwierigkeit der Formarbeit stellt eine Verbindung zur Technologie her. Es erfolgt eine Untergliederung der Formarbeit wie folgt: 1) sehr einfache, 2) einfache, 3) schwierige oder 4) sehr schwierige Formarbeit.

Zur Unterstützung des Planers bei der Einordnung der Gussteile stehen verschiedene Skizzen von Gussteilen mit unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden zur Verfügung.

Die Gruppendifinition erfolgt in 8 Gruppen: Gussteile 1) ohne Kern, 2) mit einem sehr einfachem Kern, 3) mit mehreren sehr einfachen Kernen, 4) mit einem oder zwei einfachen Kernen, 5) mit mehreren einfachen Kernen, 6) mit bis zu fünf schwierigen Kernen, 7) mit sehr einfachen, einfachen und vielen schwierigen Kernen und 8) mit sehr

schwierigen Kernen. Auch für die Einschätzung der Schwierigkeit der Kernarbeit sind technologische Vorüberlegungen erforderlich.

Die Untergruppen werden wie folgt beschrieben: 1) rotationssymmetrische Grundform, 2) prismatische Grundform, 3) kombinierte Grundform, 4) hebelförmige und sperrige Gussstücke.

Die Anwendung dieser Klassifikationsmethode erfordert einige technologische Vorarbeit. Die Zuordnung wird durch Bildmaterial unterstützt. Dies führt jedoch im Ergebnis einer subjektiven Zuordnung möglicherweise zu Fehleinschätzungen. Aufgrund der Teilevielfalt ist diese Klassifikation subjektiv, da die bildliche Darstellung nur ausgewählte Geometrien enthält. Geometrische Merkmale stimmen bei der Auswahl/Zuordnung der Teile oft nicht überein.

➤ **Klassifizierung nach Pacyna** [11]

Bei der Methode nach Pacyna werden sowohl geometrische als auch technologische Merkmale in Betracht gezogen. Ausgangspunkt für das Herangehen sind betriebswirtschaftliche Betrachtungen. Im Fokus stehen also Herstellungskosten und deren Ursachen (siehe auch **Anlage 4 Bild 9.6**).

Pacyna analysiert zunächst die Herstellungskosten auf der Basis des Arbeitsplanes (Zeit- und Masseangaben) und unterteilt die Vorkalkulation in eine technische und eine kaufmännische Kalkulation. Die Kalkulation wird in folgenden Teilbetrachtungen vorgenommen:

1. Werkstoffkosten
2. Kernherstellungskosten (Kernstoffart, Verfahren)
3. Formherstellungskosten (Formstoffart, Verfahren)
4. Gießkosten (Hand-, Scher-, Kranpfanne)
5. Ausleerkosten
6. Putzkosten
7. Temper- / Glühkosten
8. Kosten für Zusätze
9. Ausschusskosten (prozentual von Herstellungskosten, Werkstoffgutschrift) als Erfahrungswerte
10. Verwaltungs- und Vertriebskosten (prozentual von Herstellungskosten)
11. Zuschläge (Gewinn und Provision – prozentual von Herstellungskosten)

Als Basis eines Klassifikationsschlüssels werden die Ordnungsmerkmale Gestrecktheit, Dünnwandigkeit und Verpackungssperrigkeit definiert.

Die Gestrecktheit (G) gibt das Verhältnis der Hauptabmessungen des Werkstücks zu den Hauptabmessungen des Vergleichswürfels an. Als kennzeichnendes Maß werden die Raumdiagonalen des das Werkstück umschließenden Quaders (d_W) und der des Vergleichswürfels (d_{RW}), die sich aus dem Werkstückvolumens (V_G) ergibt, genutzt:

$$G = \frac{d_R}{d_{RW}} = \frac{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt[3]{V_G}}$$

Die Dünnwandigkeit (D) ist das Verhältnis der Kantenlänge (a_W) des Vergleichswürfels zur mittleren Wanddicke (d_m) des Gussstückes:

$$D = \frac{a_W}{d_W} = \frac{\sqrt[3]{V_G}}{d_W} \quad \text{mit} \quad d_W = \frac{F_1 \cdot d_1 + F_2 \cdot d_2 + \dots + F_{n-1} \cdot d_{n-1} + F_n \cdot d_n}{F_1 \cdot d_1 + F_2 \cdot d_2 + \dots + F_{n-1} + F_n}$$

Als Verpackungssperrigkeit (V) wird das Verhältnis des Umhüllungsvolumens (V_U) (Volumen des das Werkstück umschließenden Quaders) zum Werkstoffvolumen bezeichnet:

$$V = \frac{V_U}{V_G} = \frac{a \cdot b \cdot c}{V_G}$$

Zur Ermittlung des Klassifikationsschlüssels aus diesen dimensionslosen Merkmalen wendet Pacyna die gerundeten Logarithmen der Kennzahlen (je nach Differenzierungsbedarf zwei- oder dreistellig mit den Faktoren 10 bzw. 100) an.

Die Klassifikation der Gussstücke erfolgt zunächst verfahrensneutral als Stückklassifikation nach Gestalt, Werkstoffvolumen, Werkstoff, Losgröße und Eigenschaften nach Kundenwunsch. Danach erfolgt die verfahrensbezogene Klassifikation als gießereitechnische Verfahrensbeschreibung. Hierbei werden Herstellverfahren, Weiterverarbeitung, gießereitechnische Stückdaten, Schmelzverfahren, Gießverfahren, Kernformverfahren, Formverfahren, Eingießteile, Gießtechnik, Auspackverfahren, Wärmebehandlung, Putzverfahren, Bearbeitung, Oberflächenbehandlung, Prüfung, Verpacken und Sonderaufwand erfasst. Dazu werden das Modell von Schwierigkeitsklassen nach Rosenberger und auch die Gussstückklassifikation nach Malek herangezogen. In der Klassifikation werden auch die Fertigungszeiten, Nacharbeitungszeiten, Kosten je Stück, Kosten je Auftrag, Kunde und Datum erfasst. Zusätzliche Felder sind für betriebsspezifische Daten vorgesehen.

Damit ist die Klassifikation sehr komplex gefasst. Die Verwendung von firmenspezifischen kennzeichnenden Daten schränkt allerdings die Anwendbarkeit auf ein bestimmtes Gussteilespektrum und einen spezifischen Ausrüstungspark ein.

3.2 Weitere Methoden der Wiederhol- und Ähnlicheitsuche

Seitens der Grundlagenforschung wurden schon zahlreiche Methoden der Wiederhol- und Ähnlicheitsuche als Grundlage für den Aufbau verschiedener Softwaresysteme für den Praxiseinsatz entwickelt. Voraussetzung für die erfolgreiche Anwendung dieser Methoden ist eine durchgängige Datenpflege.

In [61] werden Methoden zur Erfassung impliziter und expliziter Ähnlichkeit vorgestellt (**Bild 3.9**). Hierbei wird auf weitere Methoden der Teile-Klassifikation zurückgegriffen.



Bild 3.9 Ansätze zur Strukturierung von Teilespektren [61]

Im Folgenden werden gussteilrelevante Methoden [36] näher erläutert:

- Klassifizierungsschlüssel [62], [63],
- Sachmerkmal-Leisten [64], [65],
- Clusteranalyse [66], [67],
- Fuzzy-Logic [68], [69],
- Fourieranalyse [70], [71] und
- Neuronale Netze [72], [73], [74].

3.2.1 Klassifizierungsschlüssel

Die Methode der Klassifizierungsschlüssel basiert unabhängig vom Fertigungsverfahren auf der Beschreibung von Merkmalen durch numerische Codes, wobei die Stellen des Zahlencodes eine entsprechend der Stelle immer tiefere Einteilung des Teiles in vordefinierte Teilegruppen gestatten. Die Aufstellung des Nummernschlüssels erfolgt oft betriebsspezifisch und kann u.U. auch subjektive Kriterien enthalten, wie z.B. die Beschreibung der Kompliziertheit eines Gussteiles:

(1- einfach, 2- mittlerer Kompliziertheitsgrad, 3- kompliziert, 4- sehr kompliziert).

Eine derartige Klassifizierung von Gussteilen ist nur eingeschränkt, für relativ einfache Gussteile und ein eingeschränktes Produktionsprogramm zweckmäßig bzw. für Gussteile mit einem hohen Maß an geometrischer Ähnlichkeit. Voraussetzung dafür ist jedoch eine

Strukturierung der vorhandenen Gussstückpalette, um alle möglichen Grundformen zu erfassen. Ein charakteristisches Codierungssystem für Gussteile wurde beispielsweise durch Malek, wie bereits in **Abschnitt 3.1.4** beschrieben, in der tschechischen Gießereiindustrie eingeführt [58]. In [36] wurde ebenfalls ein Vorschlag für einen Klassifikationsschlüssel dargestellt. Die **Tabellen 3.2 und 3.3** enthalten den Aufbau des Klassifikationsschlüssels am Beispiel einer Reibscheibe.

Hauptmerkmal	Charakteristik	Verschlüsselung (Beispiel)
Hauptgruppe	Rotationssymmetrisches Teil	1
1.Untergruppe	Scheibe	2
2. Untergruppe	Scheibe mit Bohrung	2
Abmessungsverhältnis Breite/ Durchmesser	0,2	0
Werkstoffgruppe	GGG	3
Hinweis auf Fertigungsverfahren	Automatische Formanlage	2

Tabelle 3.2 Merkmale und Nummerungsschlüssel am Beispiel einer Reibscheibe [36]

Bezogen auf die Beschreibung der Geometrie, des Werkstoffs und des Fertigungsverfahrens ergibt sich ein Nummerungsschlüssel für die Reibscheibe: *1_2_2_0_3_2*. Zur Spezifizierung der Geometrie können weitere Merkmale beschrieben werden, wie die Anzahl, Gestalt und Abmessungen von Nebenformelementen.

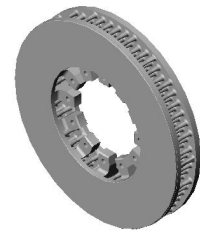


Bild 3.10
Reibscheibe [36]

Merkmale der Formelemente	Charakteristik	Verschlüsselung (Beispiel)
Formelementarten	3	3
Formelement Nr. 1	Steg zylindrisch	12
Anzahl der Formelemente Nr. 1	100	100
Lage der Formelemente Nr. 1	innen	1
Formelement Nr. 2	Steg, quaderförmig	11
Anzahl der Formelemente Nr. 2	12	12
Lage der Formelemente Nr. 2	innen	1
Formelement Nr. 3	Bohrung	1
Anzahl der Formelemente Nr. 3	12	12
Lage der Formelemente Nr. 3	innen	1

Tabelle 3.3 Erweiterter Nummerungsschlüssel für Formelemente am Gussteil (Beispiel Reibscheibe) [36]

Der Klassifikator für das Beispielteil lautet dann:

1_2_2_0_3_2_3_12.100.1_11.12.1_1.12.1.

Auf diese Weise können sämtliche Gussstücke bezüglich ihrer Grundform und ihrer charakteristischen Nebenformelemente verschlüsselt werden. Dies ermöglicht ein schnelles Auffinden von Wiederholteilen und deren Fertigungsunterlagen. Ihr zweckmäßiger Einsatz setzt die korrekte Klassifizierung seitens des Planers voraus. Für eine Ähnlichteilsuche ist dieses System allerdings aufgrund der konkreten Werteerfassung im Schlüssel relativ ungeeignet.

3.2.2 Sachmerkmal-Leisten

Sachmerkmal-Leisten sind tabellarische Übersichten. Im Gegensatz zu den Klassifizierungsschlüsseln werden spezifische Merkmale durch einen starren Klassifikator (z.B. Abmessungen, Masse, Toleranzen, Werkstoff oder Oberflächengüte direkt an der entsprechenden Stelle aufgenommen, wodurch diese aussagekräftiger und anpassungsfähiger sind. Sachmerkmal-Leisten findet man besonders bei Werknormen, wie z.B. bei Halbzeugen, Rohmaterial und Normteilen [64].

Beschreibungssysteme auf der Basis von Sachmerkmal-Leisten stellen in der Regel hierarchisch aufgebaute Begriffssysteme (Grobklassifizierung) dar.

Das im **Bild 3.11** dargestellte System veranschaulicht eine Klassifikation nach Sachmerkmalen von Gussteilen bezüglich ihrer Grundform. Sachmerkmal-Leisten sind in Gießereien wenig verbreitet.

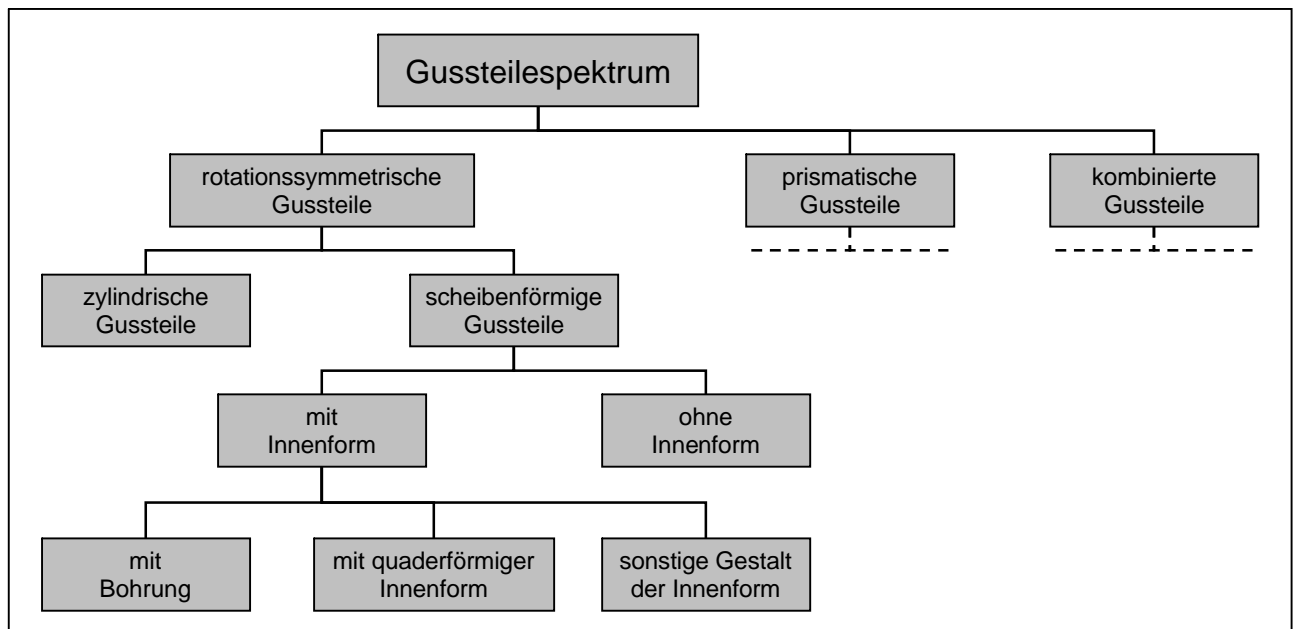


Bild 3.11 Beispiel eines Gussteilordnungssystems nach der geometrischen Grundform für die Anwendung von Sachmerkmal-Leisten [36]

Eine Unterteilung erfolgt in der Praxis durch eine Einordnung des Gussteiles nach seiner Bezeichnung. Die **Tabelle 3.4** enthält beispielhaft eine Sachmerkmal-Leiste für die Gussteilkategorie „Kolben“.

Die bildliche Darstellung der Kolben in der Tabelle unterstützt bei der Ähnlichteilsuche zusätzlich den hohen Informationsgehalt durch die Anschaulichkeit. Für eine erfolgreiche Ähnlichteilsuche ebenfalls von außerordentlicher Bedeutung ist die Festlegung der Sachmerkmale.

Bei der Anwendung von Sachmerkmal-Leisten zur Ähnlichteilsuche wird davon ausgegangen, dass ähnliche Teile in den Merkmalskategorien übereinstimmen oder nur um wenige Positionen von diesen abweichen.

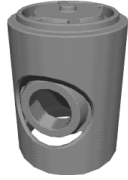
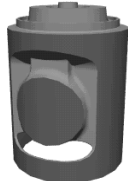
Sachmerkmal-Leiste nach DIN 4000 für Kolben							
Buchstabe		A	B	C	D	E	F
Sachmerkmal	Gussteil-Skizze	Höhe	Durchmesser	Masse	Toleranzen	Oberflächen-güte	Werkstoff
Einheit		mm	mm	kg	mm	μm	
Referenz-Hinweis							
Kolben-Nr.							
1		h_1	d_1	m_1	$\pm\text{TOL1}$	R_{z1}	G-Al...
2		h_2	d_2	m_2	$\pm\text{TOL2}$	R_{z2}	G-Al...
i		h_i	d_i	m_i	$\pm\text{TOLi}$	R_{zi}	G-Al...

Tabelle 3.4 Beispielhaftes Formular einer Sachmerkmal-Leiste für Kolben [36]

In [75] wird ein Assistenzsystem zur Ähnlichkeitsuche beschrieben. Hiernach wird die Suche nach bereits gefertigten Gussteilen ähnlicher Gestalt und Abmessungen aus verfügbaren 3D-CAD-Daten als gute Voraussetzungen für eine rechnerunterstützte Ähnlichkeitsuche angesehen und in einem mehrstufigen Prozess abgearbeitet:

Schritt 1: Rechentechnische Aufbereitung der Daten des angefragten Gussstückes und Einordnung in eine bestehende Grundformklassifikation

Schritt 2: Auswahl ähnlicher Gussteile innerhalb einer Grundformklasse durch einen stufenweisen Vergleich der Geometrie

Schritt 3: Ableitung der Auswirkungen der Technologie aus den erkannten Geometriedifferenzen zwischen angefragtem und gefundenem Ähnlichkeit

Dazu wird für alle Gussteile eine Zuordnung in eine Grundformklassifikation vorgenommen, die im **Bild 3.12** dargestellt ist.

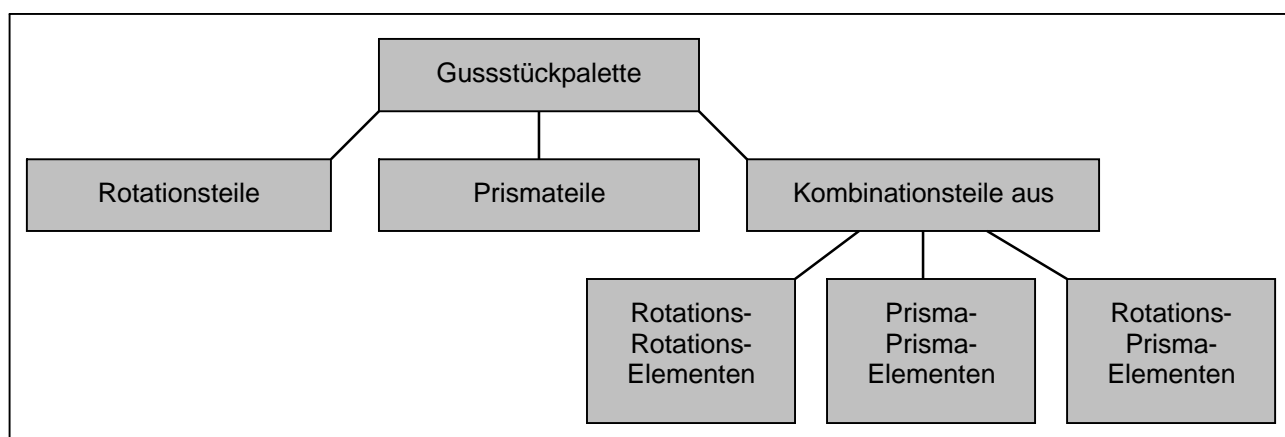


Bild 3.12 Grundformklassifikation für Gussstücke [75]

Hierbei wird die Suche zunächst nur auf geometrische Ähnlichkeit beschränkt. Diese kann zusätzlich durch eine visuelle Teilesuche, den Einsatz von CAD-Software oder Fotos unterstützt werden (**Bilder 3.13 - 3.15**).



Bild 3.13 Visuelle Ähnlichteilsuche [76]

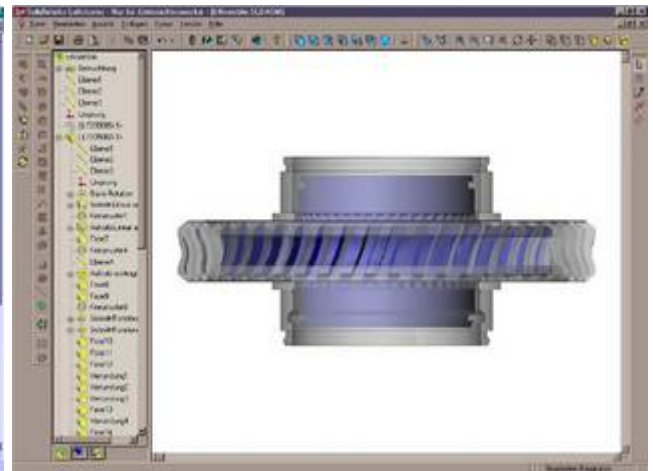


Bild 3.14 Geometrievergleich eines angefragten und des dokumentierten Gussteiles im Ensemble im CAD-System SolidWorks [76]

Der technologische Abgleich erfolgt in der Regel auf Basis einer Checkliste oder auch durch visuelle Hilfsmittel (**Bild 3.15**).

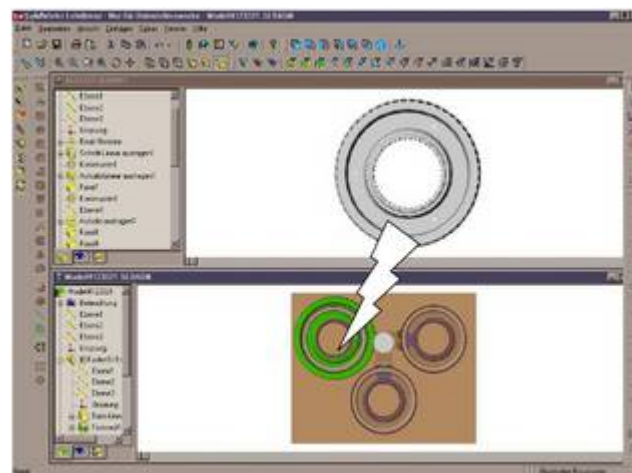


Bild 3.15 Visueller Technologieabgleich [76]

3.2.3 Clusteranalyse

Unter der Clusteranalyse versteht man Verfahren zur automatischen Klassifizierung durch eine spezifische Datenauswertung und Einsatz von Vergleichsalgorithmen.

So werden Objektmengen, z.B. Gussteile, die sich durch eine bestimmte Anzahl von Merkmalen auszeichnet, in eine optimale Anzahl von Klassen oder Clustern zerlegt. Auf diese Weise bilden ähnliche Teile eine Klasse, wobei sich die Klassen möglichst klar voneinander unterscheiden lassen.

Zur Durchführung der Clusteranalyse werden die für ein Teilespektrum interessierenden Merkmale ausgewählt. Auf diese Weise entsteht eine Matrix aus den zu untersuchenden Gussteilen und Merkmalen. Auf der Basis dieser Matrix können Vergleiche von Teilen

stattfinden, die durch einen spezifischen Algorithmus zu beschreiben (programmierbar) sind. Im Ergebnis der Vergleiche steht die Ähnlichkeit der Teile oder deren Distanz zueinander. Nach [67] wird bei der Clusteranalyse strukturell nach folgendem Muster vorgegangen:

1. Datenaufbereitung,
2. Auswahl einer Distanzfunktion,
3. Festlegung eines mathematischen Gruppierungsverfahrens,
4. Gruppenbildung mittels Clusteranalyse sowie
5. problemneutrale mathematische Wertung und problemspezifische Interpretation.

Im Folgenden wird aus [36] ein Beispiel zur Bildung von Clustern auf der Basis einer Datenmatrix möglicher Gussteile in den **Tabellen 3.5 und 3.6** herangezogen.

Als charakteristische Merkmale, auf deren Basis Gruppen gebildet werden sollen, dienen dabei metrische Größen, wie die Länge (m_1), Höhe (m_2) und Breite (m_3) der Teile (**Tabelle 3.5**).

Die Distanz D wird nach der City-Block-Metrik wie folgt berechnet:

$$D = |\Delta m_1| + |\Delta m_2| + |\Delta m_3|$$

Merkmal Gussteil	m_1 Länge in mm	m_2 Breite in mm	m_3 Höhe in mm
A	10	5	4
B	20	4	6
C	15	6	5
D	50	30	20
E	45	35	15
F	150	85	70

Tabelle 3.5 Datenmatrix als Voraussetzung der Bildung von Clustern für 6 beispielhafte prismatische Gussteile (A - F) [36]

Daraus ergibt sich die Dreiecksmatrix in **Tabelle 3.6**.

	A	B	C	D	E	F
A	0	13	7	81	76	286
B		0	8	70	65	275
C			0	74	69	279
D				0	15	205
E					0	210
F						0

Tabelle 3.6 Dreiecksmatrix für das gewählte Beispiel [36]

In diesem Beispiel haben die Teile A und C die geringste Distanz (7) und werden somit zu einem Cluster zusammengefasst und damit in der Folge wie ein Objekt AC behandelt.

Im nächsten Schritt die nächst größere Distanz Teil B zu Objekt AC mit (13) einem neuen Cluster ACB zugeordnet. Die Teile D und E bilden mit der Distanz (15) wiederum ein Cluster DE. Man verfährt in dieser Weise solange fort bis alle Teile einem Cluster

zugeordnet wurden. Das Ergebnis der Clusterung lässt sich dann in einem Dendrogramm darstellen **Bild 3.16**

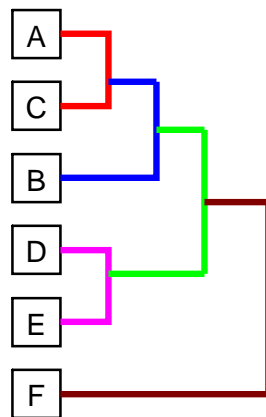


Bild 3.16 Dendrogramm (Single Linkage) für ein Klassifikationsbeispiel [36]

Der Einsatz der Clusteranalyse ist für Gussteile von Vorteil, weil in die Distanzberechnung verschiedene Eigenschaften einbezogen werden können. Allerdings ist von Nachteil, dass sämtliche Gussteileigenschaften in Zahlenform (binäre Daten) gebracht werden müssen. In der Literatur wird die Clusteranalyse nicht nur für den praktischen Einsatz betrachtet. Die Untersuchung von Werkstückspektren mit der Clusteranalyse wird in [67] am Beispiel des Softwaresystems CLASSIC vorgestellt, mit dem ein System entwickelt wurde, das zur systematischen Untersuchung in verschiedensten Bereichen einer Ähnlichkeitsuche und damit auf die Bewertung der Anwendbarkeit der Clusteranalyse zielt. Die grundsätzliche Vorgehensweise dabei wird im **Bild 3.17** dargestellt.

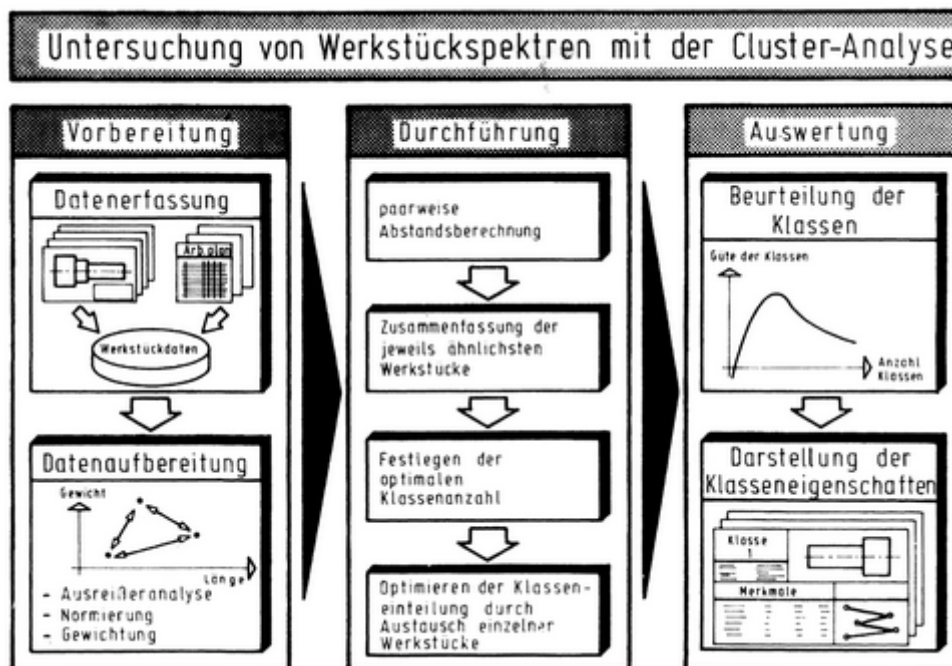


Bild 3.17 Untersuchung von Werkzeugspektren mit der Clusteranalyse [67]

Die Erfassung der Eingabedaten erfolgte hierbei durch eine normierte Werkstückbeschreibung mit einer dafür entwickelten Software. Diese Daten reichten noch nicht für

eine ausreichende Vergleichbarkeit aus. Deshalb wurden sie zur weiteren Verarbeitung zu werkstückspezifischer Kenndaten konvertiert. Damit wurde es möglich, alle zur Verfügung stehenden Daten beliebig miteinander zu kombinieren. Auf diese Weise wurde die Bildung von Clustern nach unterschiedlichen Kriterien ermöglicht.

Vor der eigentlichen Clusteranalyse erfolgt nun noch eine durch den Anwender gesteuerte Datenaufbereitung durch Festlegung von Vergleichskriterien und die Ermittlung von Ausreißern. Der Anwender hat die Entscheidung, die Auswahl der Werkstücke oder auch die Merkmale zu ändern.

Die Durchführung der Clusteranalyse erfolgt durch paarweise Vergleiche an Hand der festgelegten Merkmale, wobei bei der Verwendung einer hohen Anzahl von Merkmalen die Festlegung von Hauptmerkmalen oder Gewichtungen erforderlich wird. Durch den Einsatz verschiedener Auswahlstrategien (z.B. Singel-Linkage, Complete-Linkage, Average-Linkage ...) entstehen Hierarchien. Die Optimierung der Clusteranzahl (es besteht eine umgekehrt proportionale Abhängigkeit von Varianzkriterien und Clusteranzahl) bildet den Abschluss des Verfahrens.

In der Auswertung der Ergebnisse erfolgen nun eine mathematische Bewertung und die problemspezifisch Darstellung der Eigenschaften der Gruppen.

Die Komplexität dieses Verfahrens von der erforderlichen Datenbasis bis hin zu den Ergebnissen zeigt zum einen das Potenzial der erreichbaren Ergebnisse, zum anderen aber auch den erforderlichen Aufwand [67].

3.2.4 Fuzzy-Logic

Die Fuzzy-Logic ist als unscharfe Mengenlehre zu verstehen. Bei sonst üblichen Wahr/Falsch-Entscheidungen sind Zwischenwerte wie „ein bisschen“, „ziemlich“ oder „fast“ möglich oder in Zahlen ausgedrückt sind bei einer sonst digitalen Information (1 oder 0) hier auch 0,3 oder 0,5 oder zwischen schwarz und weiß ist eine Grauzone möglich. Diese Theorie wurde insbesondere für Computerprogramme entwickelt, die keine eindeutigen Entscheidungen treffen müssen und für die Darstellung menschlichen (und damit unscharfen) Wissens besser geeignet sind.

Bei der Anwendung der Fuzzy-Logic für die Teileklassifizierung ist der entscheidende Unterschied zu den bisher beschriebenen Methoden, dass ein Teil mehreren Objektklassen angehören kann.

Für die Anwendung der Fuzzy-Logic werden zunächst die gleichen Problemstellungen wie bei der Clusterung oder bei den Sachmerkmal-Leisten vorausgesetzt. Zu untersuchende Merkmale, die den Vergleich und damit die Einordnung von Objekten ermöglichen und eine entsprechende Erfassung der Objekte, sind auch hier erforderlich. Das kann durch

eine verbale Klassifizierung mit anschließender Beschreibung der Gussteile in Sachmerkmal-Leisten erreicht werden. Dann werden die Sachmerkmal-Leisten in unscharfe Daten umgewandelt. Das erfolgt für jegliche Daten, unabhängig ob es sich metrische, binäre oder ordinale Daten handelt. Als metrischen Daten sind z.B. Abmessungen oder Massen von Gussteilen zu verstehen. Binäre Daten wären z.B. das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein bestimmter Formelemente. Ordinale Merkmale werden z.B. für die Beschreibung der Kompliziertheit der Gussteilgestalt (z.B. einfach, kompliziert und sehr kompliziert) verwendet [68]. Diese Merkmale liegen also schon in einer Form der unscharfen Klassifizierung vor, da deren Ausprägung nicht klar abzugrenzen ist.

Metrische Merkmale, z.B. Gussteilabmessungen, sind hingegen zu „fuzzifizieren“. Dies kann für die Längenbeschreibung von Gussteilen wie folgt aussehen:

- sehr lang Gussteile,
- lange Gussteile und
- kurze Gussteile.

Im **Bild 3.18** werden beispielhaft die Zugehörigkeitsfunktionen der Fuzzy-Logic dargestellt, welche für die Länge von Gussteilen ermittelt wurden.

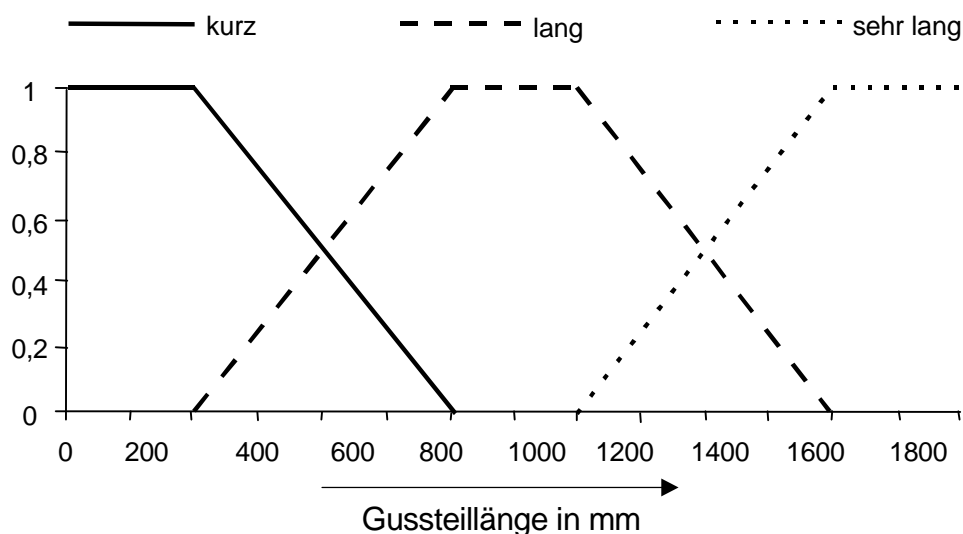


Bild 3.18 Beispiel von Zugehörigkeitsfunktionen der Fuzzy-Logic für die Einteilung der Länge von Gussteilen [36]

In der Grafik ist gut erkennbar, dass Gussteile bis 300 mm Länge klar als kurz bezeichnet und damit klassifiziert sind. Hingegen können Gussteile von 300 bis 800 mm noch als kurz oder schon als lang bezeichnet werden und können bei der Suche als Treffer in beiden Klassen gefunden werden.

Nach der „Fuzzifizierung“ der Sachmerkmale der zu betrachtende Gussteilpalette ist es zweckmäßig zur Gruppenbildung, eine Clusterung der Merkmale vorzunehmen.

Die Auswertung der Cluster erfolgt nach folgenden Kriterien:

- Gussteile, die im Zentrum eines Clusters liegen, gehören nur dieser Klasse an,
- Gussteile, die am Rande eines Clusters liegen, können zu einem gewissen Anteil (Grad der Zugehörigkeit) noch einer anderen Klasse angehören.

Werden beide Methoden kombiniert angewendet, erhält man relativ schnell Zugriff auf das oder die ähnlichen, dokumentierten Gussstücke [69]. Unter Berücksichtigung des Distanzwertes zwischen einem neu angefragtem und den hinterlegten ähnlichen Gussteilen kann die Entscheidung zur Verwendung der teilebezogenen Arbeitspläne und Technologien als Basis einer Anpassungsplanung erfolgen.

3.2.5 Fourieranalyse

Mittels der Fourieranalyse ist es möglich, ebene Konturen in Sinus- und Kosinusfunktionen zu zerlegen. Im Allgemeinen wird mit der Fourieranalyse untersucht, in welcher Weise eine periodische Funktion sich in Sinus- und Cosinus-Funktionen zerlegen lässt. Nach J.B.J. Fourier lässt sich jede periodische Funktion in folgender Form darstellen:

$$x(t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos(n\omega_0 t + \varphi_n) \quad (\text{Grundschiwingung: } \omega_0, \text{ Oberschwingungen: } \omega_n = n\omega_0, \text{ Phasen: } \varphi_n)$$

Mittels der entstehenden Fourier-Reihen werden technische Probleme z.B. aus der Mechanik, Elektro- und Signaltechnik (vorrangig in der Signaltechnik), bei denen periodische Vorgänge auftreten, untersucht.

Für eine Anwendung bei der Ähnlichteilsuche eignet sie sich begrenzt für die Beschreibung und Suche von Gestaltmerkmalen. Sie ist dabei allerdings nur auf die Untersuchung ebener Konturen anwendbar.

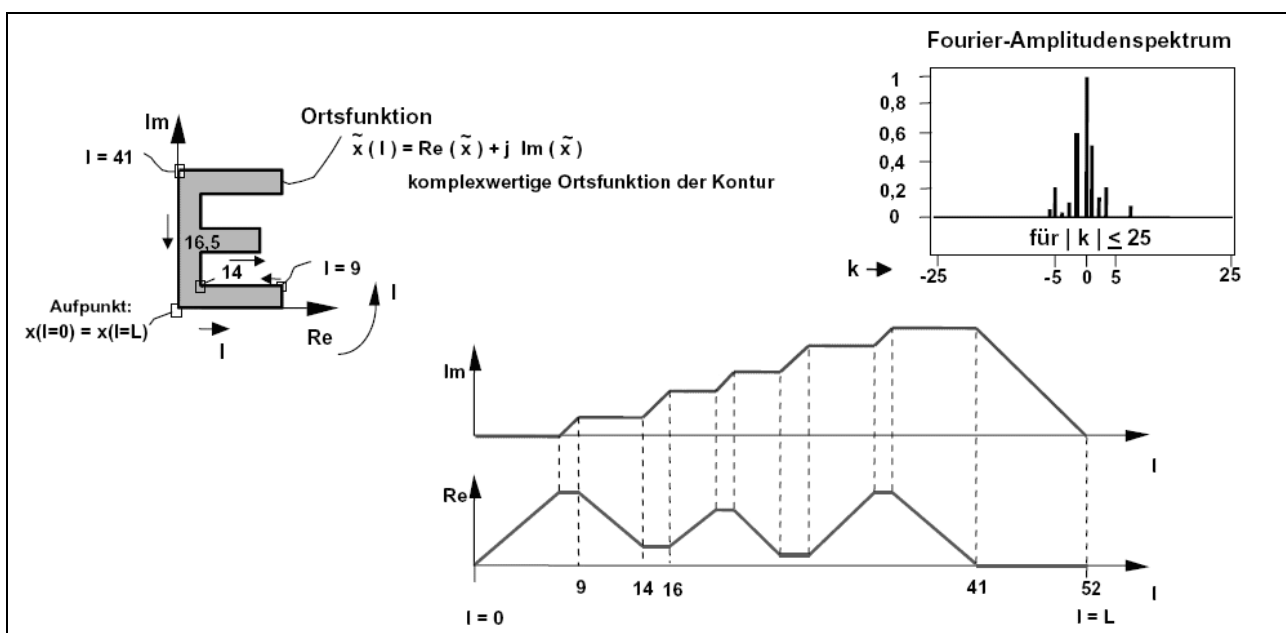


Bild 3.19 Fourieranalyse mit Amplitudenspektrum an einer geschlossenen Kontur [77]

Eine gute Grundlage für die Untersuchung von Gussteilen stellt deshalb die Gussteilzeichnung dar. Eine Gussteilzeichnung stellt eine ebene, geschlossene Kontur dar, welche auf eine komplexwertige Ortsfunktion und das zugehörige normierte Fourier-Amplitudenspektrum abgebildet werden kann (**Bild 3.19**). Die x- und y-Koordinaten der Kontur werden dabei als Funktion des Umfangs (Gesamtlänge der Kontur) betrachtet. Eine der beiden entstehenden Funktionen stellt den Realteil (Re), die andere den Imaginärteil (Im) der komplexwertigen Ortsfunktion dar. Bei der folgenden Fourieranalyse werden das aus der Zerlegung in Sinus- und Cosinus-Funktionen entstehende Amplitudenspektrum als Basis von Konturenvergleichen genutzt. Der Grundgedanke der Fourieranalyse besteht darin, dass gleiche Konturen gleiche Amplitudenspektren zur Folge haben [71]. Durch die Ermittlung von Merkmalsdifferenzen in einem Vergleichsspektrum und die Analyse nur bestimmter Frequenzbereiche ist der Einsatz auch zur Wiederholteilsuche nach eingegebenen Referenzkonturen möglich. Bisherigen Untersuchungen zufolge ist die Fourier-Analyse jedoch nur für relativ einfache Konturen einsetzbar [36].

3.2.6 Neuronale Netze

Künstliche neuronale Netze sind ein Zweig der künstlichen Intelligenz. Diese basieren, in Anlehnung an das menschliche Nervensystem, auf dem Zusammenwirken einer Vielzahl von Neuronen (Nervenzellen). Eine Anwendung von Ähnlichkeitsvergleichen findet bereits in der Kriminalistik eine breite Anwendung. Basis für die Methode ist eine computergestützte Lichtbilderdatenbank (Phantomas®) für den Erkennungsdienst, die Gesichter automatisch vergleichen und identifizieren kann. Als Vorlage genügt ein Foto, ein gezeichnetes oder am Computer erstelltes Phantombild oder ein Ausschnitt aus einem Videofilm [78].

Beim Einsatz für die Ähnlichkeitsuche müssen zum Anlernen des neuronalen Netzes bestimmte Eingangsgrößen (z.B. Bauteilmerkmale) in gewünschte Ausgangsgrößen umgewandelt werden, also als Mustervergleiche vorliegen.

Ein Beispiel für die Anwendung eines neuronalen Netzwerkes wird in [27] beschrieben. Dieses basiert im Wesentlichen auf der Pacyna'schen Klassifikation und nutzt die Gestrecktheit (G), die Dünnwandigkeit (D_{ii}) und die Verpackungssperrigkeit (V_s) als Eingangsgrößen. Als vierte Eingangsgröße dient die Oberflächenkomplexität (O). Als Ausgangsgrößen wurden Schwierigkeitsstufen für die Gussteile (von 1 - sehr einfach bis 5 - sehr kompliziert) definiert. Die Ähnlichkeit der Gussteile wird somit anhand der Schwierigkeit (S) zur deren Herstellung gemessen.

Für die Untersuchung kam ein 4-9-6-5- Netz zur Anwendung (**Bild 3.20**).

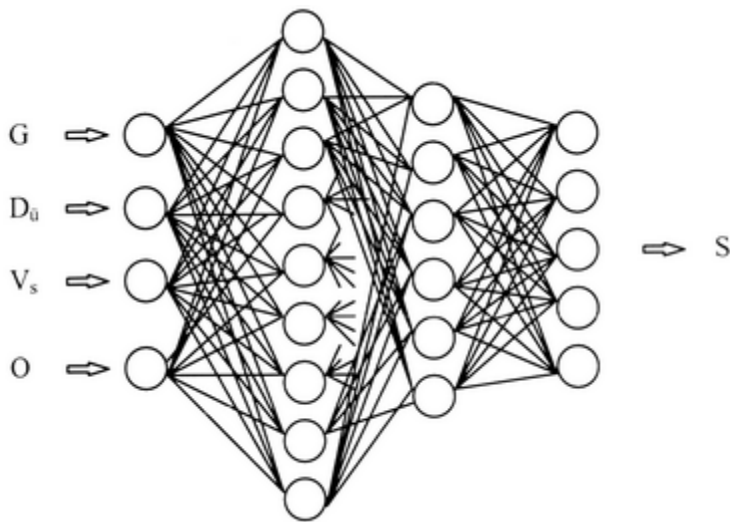


Bild 3.20 4-9-6-5 - Neuronales Netz von Binder (schematisch) [44]

Das im **Bild 3.20** dargestellte Netzwerk wurde mit Hilfe von ca. 20.000 Lernschritten trainiert. Danach war eine Zuordnung aller eingegebenen Eingangsgrößen zu den Schwierigkeitsstufen 1 bis 5 durch das Netz möglich. Bei der Anwendung von neuronalen Netzen stellt dieser langwierige Prozess des Anlernens ein Problem dar. Insbesondere bei der Betrachtung der Komplexität von Gussteilen erscheint es, bisher als ungeeignet, da sich die Datenauswertung als langwierig gestaltet. Ebenso sind im Nachhinein Entscheidungen des Systems analytisch nicht nachvollziehbar, da sie ausschließlich auf dem Anlernprozess basieren (Blackbox).

3.2.7 Featurebasierte Ähnlich- und Wiederholteilsuche

Als eine weitere Methode, die auf direkten geometrischen Vergleichen zweier Bauteile beruht, ist die featurebasierte Ähnlich- und Wiederholteilsuche zu nennen.

Voraussetzung dafür sind ein 3D-CAD-System und aus Features modellierte Bauteile [79].

Ein Interpreter bzw. Analysemodul wird zur Analyse genutzt.

Die durchgängige Nutzung von 3D-Werkstückmodellen für eine technologieorientierte Vorkalkulation ist die Voraussetzung für die Anwendung einer featurebasierten Ähnlich- und Wiederholteilsuche. Besonders geeignet ist diese Methode für die Spanungstechnik, da hier die Schnittstellen zwischen CAD und Fertigung (CAM / CNC) bereits ausgereift und produktionsrelevant sind. Aus diesem Grund können featurebasierte CAD-Histories unmittelbar in die Ähnlichsuche einbezogen und damit auch für eine effiziente Vorkalkulation, wie im **Bild 3.21** dargestellt, herangezogen werden.

Problematisch bei der Anwendung dieser Methode ist es, dass die Featurestruktur und -anordnung zweier Bauteile trotz gleicher geometrischer Gestalt differenziert sein kann und damit offensichtlich ähnlich Bauteile in der Suche nicht erkannt werden.

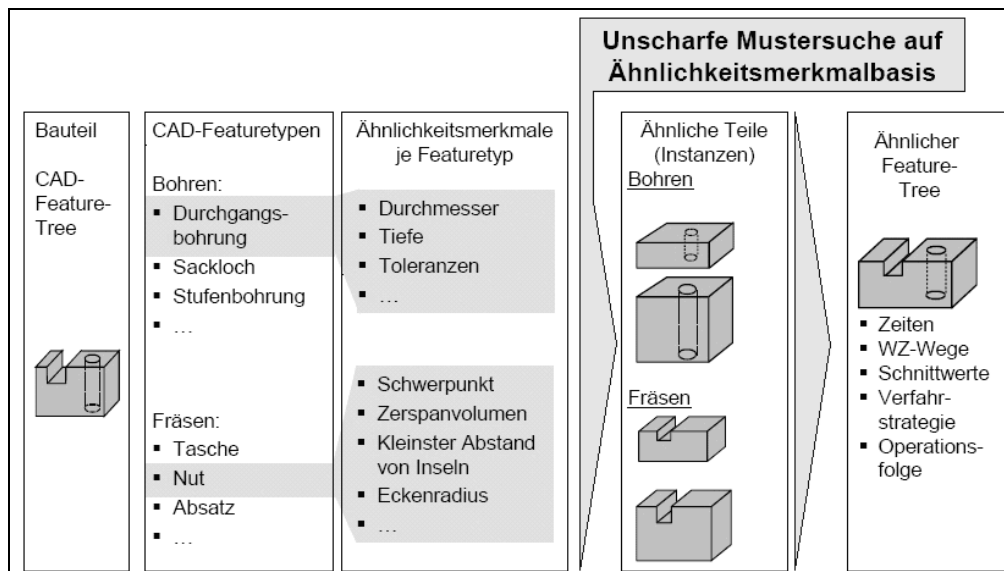


Bild 3.21 Ablauf einer Ähnlichkeitskalkulation mit Hilfe eines Feature-Trees in der Spanungstechnik [80]

Die Verwendung von Konstruktionsfeatures in der Spanungstechnik zur unmittelbaren Ableitung von Fertigungsschrittfolgen (Fertigungsfeatures) und daraus resultierende Zeit- und Kostensätzen sind für eine rationelle Angebotsbearbeitung vorstellbar.

Für die Urformtechnik jedoch kommt zusätzlich erschwerend hinzu, dass der Fertigungsprozess weitaus komplexer ist und sich nicht durchgängig aus einer 3D-Konstruktion in der Produktion computergestützt realisieren lässt.

Für die Formherstellung wäre diese Methode zumindest für einfache Formen vorstellbar. Insbesondere beim Formstofffräsen treffen die für die Spanungstechnik angeführten positiven Argumente ebenfalls zu. Hier werden die erforderlichen Hohlräume der Form nicht durch ein Modell abgebildet sondern durch mechanische Bearbeitung eines Formstoffblockes. Diese Methode der Formherstellung hat eindeutige Vorteile für die Herstellung von Einzel-Gussteilen oder Kleinstserien im Prototypenbau.

Vom Institut für angewandte Forschung (IAF), Esslingen wurde ein Softwaremodul entwickelt, das mit neuartigen CAD-Methoden den Produktionsentstehungsprozess von Gussteilen drastisch verkürzen kann [81]. Der Übergang vom Gussfertigteil zum Gussrohrtteil erfolgt im Wesentlichen in zwei Schritten: dem Entfernen bearbeitungsspezifischer Funktionselemente und der Berücksichtigung mechanischer Bearbeitungszugaben. Mit einem wissensbasierten Konstruktionsverbundsystem ist es möglich, die Modellart, die Zahl der erforderlichen Kerne, deren Gestalt und Abmessungen festgelegt und damit die Modelleinrichtung erstellt werden.

Grundlage für die CAD-unterstützte Bauteilbeschreibung sind technologieorientierte CAD-Funktionselemente (Features), die neben der Geometrieinformation auch Angaben über Technologie und Funktion berücksichtigen [81].

3.2.8 Bewertung der Klassifizierungsmethoden

In der **Tabelle 3.7** werden die Klassifikationsverfahren gegenübergestellt und bezüglich ihrer Vor- und Nachteile beurteilt (siehe auch **Anlage 5 Tabelle 9.2**).

Klassifikationsverfahren	Beschreibung	Vorteile	Nachteile / Probleme
Klassifizierungsschlüssel	Unabhängig vom Fertigungsverfahren werden Merkmale in einem, allerdings meist betriebsspezifischen numerischen Code erfasst, wobei mit der Anzahl der Stellen die Tiefe der Beschreibung des Objektes größer wird.	<ul style="list-style-type: none"> + klare Definition von Teilefamilien + eindeutige Zuordnung zu Merkmalen + einfache rechentechnische Verwendung / Auswertung der Daten möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - durch die Verwendung von scharfen Merkmalgrenzen nur für Grundeinteilung verwendbar - subjektiv durch betriebsspezifische Codierung - Verwendung von Konstruktionsdaten kaum möglich
Sachmerkmal-Leisten	Sachmerkmal-Leisten sind tabellarische Übersichten, die spezifische Informationen von über bestimmte Teile speichern. Datenverwaltung kann manuell oder maschinell erfolgen. Sie dienen zum Zusammenfassen, Abgrenzen und Auswählen von Teilen.	<ul style="list-style-type: none"> + gute Informationsabbildung + eindeutige Speicherung von Merkmalen + einheitliche Handhabung bei großen Teilmengen + bildliche Darstellung kann integriert werden 	<ul style="list-style-type: none"> - hierarchischer Aufbau - Zuordnung erfolgt weitestgehend manuell und ist somit subjektiv - Teile einer Klasse müssen möglichst homogen sein, die Klassen untereinander jedoch möglichst inhomogen
Clusteranalyse	Ein Teilemenge soll durch eine bestimmte Anzahl von Merkmalen ausgezeichnet, in eine optimale Zahl von Klassen (Clustern) zerlegt werden. Die Gruppen sollen möglichst ähnliche Teile vereinen, aber untereinander so unterschiedlich wie möglich sein.	<ul style="list-style-type: none"> + binäre (ja/nein) und metrische (26mm) Merkmale verarbeitbar + Es wird ein Maß für die Ähnlichkeit ermittelt. + unabhängig von der geometrischen Darstellung (3D, 2D) + ermöglicht eine automatische Klassifikation + hohe Flexibilität 	<ul style="list-style-type: none"> - sinnvolle Auswahl der beschreibenden Merkmale - Wichtung der unterschiedlichen Merkmale - Beschäftigung mit der Technologie bei Verwendung technologische Merkmale
Fuzzy-Logic	Durch die Fuzzy-Logic werden unscharfe Mengen erzeugt, die es zulassen, dass Objekte mehreren Klassen angehören. Diese Methode kommt der menschlichen Wissenbeurteilung sehr nahe.	<ul style="list-style-type: none"> + Anwendbarkeit auf alle Arten von Daten (binäre, metrische, ordinale) + Relativ schneller Zugriff bei Merkmalsuche + Kombination mit anderen Klassifizierungsmethoden 	<ul style="list-style-type: none"> - Hoher Aufwand durch zusätzliche Fuzzifizierung der bereits erfassten Daten - Differenzierte Beurteilung der Suchergebnisse erforderlich
Fourier-Analyse	Dies ist ein Verfahren zur automatischen geometrischen Ähnlichkeitsuche von technischen Objekten. Die Fourier-Analyse stellt ein Auswertungsverfahren für 2D-Geometrien dar. Die x- und y-Koordinaten werden als Funktion des Umfangs dargestellt.	<ul style="list-style-type: none"> + automatische Klassifikation möglich, + reine Geometrieauswertung, + keine technologischen Vorüberlegungen nötig + hohe Flexibilität und gute Suchmechanismen 	<ul style="list-style-type: none"> - Es sind Algorithmen zu erstellen, die Kontur in eine normierte Lage überführen. - Die Erkennung beschränkt sich auf 2D-Darstellungen der Gestalt - geringe Anwendungsbreite
Neuronale Netze	Mittels neuronalen Netzen kann die Zuordnung einer Menge von Objekten zu einer begrenzten Anzahl von Klassen erfolgen. Bestimmte Netztypen können selbständig Klassen bilden (Kohonen-Netz), andere, z.B. Backpropagation-Netze, erlernen anhand von Beispieldaten die Zuordnung zu bereits definierten Klassen.	<ul style="list-style-type: none"> + Bei bekanntem Eingangs- und Ausgangssignal erfolgt ein selbständiges Training des Netzes. + Bei bestimmten Netzkonstruktionen ist ein selbstständiger Lernprozess zu verzeichnen. + neuronale Netze sind programmierbar + Möglichkeit einer 3D-Bewertung der Gestalt + keine technologische Vorarbeit nötig 	<ul style="list-style-type: none"> - Das Anlernen dieser Netzwerke ist ein langwieriger Prozess, da er viel Rechenkapazität erfordert. - nicht für große Datenmengen geeignet - Es ist nicht nachvollziehbar, was die Ursachen für die "Entscheidung" des Netzes sind. - stark steigende Anzahl der Lernschritte bei steigender Teilezahl
Featurebasierte Konstruktion	Hierbei handelt es sich nicht um eine wirkliche Klassifikationsmethode. Jedoch kann eine featurebasierte Konstruktion gut für eine Ähnlich- und Wiederholteilsuche verwendet werden. Voraussetzung sind dafür sind 3D-Daten, die immer wieder auf Standards zurückgreifen.	<ul style="list-style-type: none"> + kein zusätzlicher Aufwand zur Erzeugung von auswertbaren Daten (stammen aus Konstruktionsverlauf) + reine Geometrieauswertung 	<ul style="list-style-type: none"> - Nur für bestimmter Fertigungsverfahren einsetzbar (optimal für CAD-CAM-Kombination) - Abhängigkeit von Featurestruktur- und -anordnung - keine Unterscheidungen bei gleichen Formelementen in unterschiedlicher Anordnung möglich

Tabelle 3.7 Vergleichende Übersicht zu Klassifikationsverfahren (erweitert nach [36])

Zusammenfassend kann eingeschätzt werden, dass die Mehrzahl der beschriebenen Methoden auf subjektiv festzulegenden Eingangsgrößen basiert und einen zusätzlichen

Aufwand für die Datenerfassung erfordert. Deshalb ist bei der Beurteilung der Effizienz für eine Ähnlich- oder Wiederholteilsuche eine Fallentscheidung notwendig. Diese hängt in den meisten Fällen vom Fertigungsverfahren ab.

Können beispielsweise Daten aus der Bauteilkonstruktion, wie bei der Fourier-Analyse und der featurebasierte Ähnlichteilsuche direkt genutzt werden, sind zwar Geometrievergleiche ohne zusätzlichen Aufwand, aber die Einbeziehung weiterer Merkmale nicht unmittelbar möglich. So sind diese für komplizierte Bauteile, wie sie Gussteile darstellen und bei denen weitere Merkmale, wie Volumen, Wanddicken, auf Grund der Aggregatzustandsänderung für einen Ähnlichkeitsvergleich unabdingbar sind, bisher nicht anwendbar.

In der **Tabelle 3.8** werden alle vorgestellten Methoden noch einmal bezüglich einer geometrischen Ähnlichteilsuche für Gussteile gegenüber gestellt.

Kriterium\Verfahren	Klassifizierungsschlüssel	Sachmerkmal-Leisten	Cluster-Analyse	Fuzzy-Logic	Fourieranalyse	Neuronale Netze	Feature
Komplexität der Gussstückdaten	2D-Daten 3D-Daten	2D-Daten 3D-Daten	2D-Daten 3D-Daten	2D-Daten 3D-Daten	2D-Daten	2D-Daten 3D-Daten	3D-Daten
Verwendung binärer Merkmale (Ja/Nein)	möglich	möglich	möglich	möglich	nicht möglich	möglich	möglich
Verwendung metrischer Merkmale	möglich	möglich	möglich	möglich	nicht möglich	möglich	möglich
Verwendung ordinaler Merkmale	möglich	nicht möglich	nicht möglich	möglich	nicht möglich	nicht möglich	nicht möglich
technologische Vorarbeit	keine	keine	keine	gering	keine	keine	gering
rechentechnischer Aufwand	gering	abhängig von den Sachmerkmalen	hoch	hoch	hoch	hoch	mittel
Nachvollziehbarkeit	gut	gut	mittel	kaum	gering	kaum	gut
Automatisierbarkeit	gut	gut	gut	gut	gut	gut	gut
Informationsabbildung	gut	gut	mittel	mittel	mittel	mittel	gut

Tabelle 3.8 Bewertung progressiver Klassifikationsverfahren bezüglich einer geometrieorientierten Ähnlichteilsuche für Gussteile (erweitert nach [36])

Wie bereits unter **3.1.2** ausgeführt, sind die universellen Klassifizierungsmethoden nicht ohne weiteres für die Urformtechnik anwendbar. Die Komplexität der Teilegeometrien, die Aggregatzustandsänderung im Fertigungsprozess und die nach dem Abguss noch folgenden Arbeitsschritte führen zu zwingend spezifischen Klassifizierungsmethoden für Gussteile. Diese werden im Vergleich zu ihren Vor- und Nachteile in der **Tabelle 3.9** dargestellt. Bei diesen Methoden handelt es sich um die Klassifikationen nach Rosenberger, Czikel und Pacyna.

Wie auch aus diesem Vergleich hervorgeht, gibt es derzeit keine Methode, die unter Anwendung von rechentechnischen Hilfsmitteln eine optimale Ähnlich- und Wiederholteilsuche für Gussteile ermöglicht.

Klassifikationsverfahren	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
Klassifikation nach Rosenberger	Zusammenfassung des Gussstücksortimentes aufgrund gleicher oder ähnlicher Schwierigkeitsgrade bei der Formherstellung, der Kernarbeit und der geometrischen Grundform	+ es erfolgt eine bildliche Zuordnung in Kombination mit gießereispezifischen Werten + für den Fachmann leicht verständlich	- manuelle Zuordnung in bereits fest vorgegebene Gruppen - mehrfache Zuordnung möglich - erfordert erhebliche technologische Vorarbeit
Klassifikation nach Czikel	Ausgangspunkt sind die Größen Volumen, Oberfläche und Kernvolumen. Durch mathematische Verknüpfungen erhält man die Proportionierung und die Dimensionierung.	+ 3D-Beschreibung der Gestalt von Körpern + Größen sind unabhängig von der Lage des Koordinatensystems + dimensionslose Größen	- intensive Beschäftigung mit der Technologie - keine umfassende Beschreibung der Gestalt von Gussteilen - bereits sehr detaillierte fertigungstechnische Überlegungen
Klassifikation nach Pacyna	Verwendung von fertigungstechnischen und geometrischen Merkmalen. Kennzeichnende Daten sind die Losgröße, Fertigungsmenge/Monat, die maximalen Abmessungen, die Zahl der Speisungsbereiche, die Kerne, der Formanteil und die Schwierigkeit für das Kernmachen, das Formen und das Putzen.	+ 3D-Beschreibung der Gestalt von Körpern + Größen sind unabhängig von der Lage des Koordinatensystems + umfassende Beschreibung sehr betriebspezifischer Daten + Nachweis der Verwendbarkeit wurde erbracht	- Fülle notwendiger Angaben durch den Kunden - Vielzahl von Berechnungen in allen Bereichen - intensive Beschäftigung mit der Technologie erforderlich - bereits sehr detaillierte fertigungstechnische Überlegungen

Tabelle 3.9 Vergleich spezifischer Klassifikationsverfahren für Gussteile [36]

Im Vergleich zur Spannungstechnik, bei der der Fertigungsprozess sich fast durchgängig auf Konstruktionsdaten stützt und damit in der Angebotserarbeitung eine Ähnlichkeitsuche mit fast jeder Klassifikationsmethode möglich wird, sind derartige Softwarelösungen für Gussteile lediglich in der Formfertigung (z.B. für das Formstofffräsen) anwendbar. Und auch hier sind die Folgen der Aggregatzustandsänderung und der thermischen und mechanischen Arbeiten nach dem Gießprozess von zahlreichen zusätzlichen Faktoren abhängig.

Ziel einer Ähnlich- und Wiederholtheitsuche ist es, durch die Schaffung geeigneter Werkzeuge und Methoden, den Aufwand für die Angebotserstellung zu minimieren und gleichzeitig die Qualität der abgegebenen Angebote zu erhöhen. Also sind möglichst alle, für den Fertigungsprozess relevanten Merkmale, im Vorfeld zu erfassen.

Bereits in den 60'iger Jahren des 20. Jahrhunderts wurden dazu in den Gießereien Klassifikationen für Gussteile entwickelt. Es entstanden Nummerierungs-, absolute und technologische Klassifikationssysteme, die den heutigen Anforderungen durch die ständig wachsende Gussteilevielfalt jedoch nicht gerecht werden. Der Einsatz von moderner Computertechnik bietet ganz andere Voraussetzungen beim Verwalten, Speichern und Auffinden ähnlicher Bauteile, d.h. es können wesentlich größere Datenmengen in relativ kurzer Zeit verglichen werden. Der Trend in Gießereien zu Einzel-, Klein- und Mittelserienfertigung und zunehmend in 3D-CAD-Daten angefragter Gussteilen erfordern in der Arbeitsvorbereitung und im Vertrieb neue Arbeitsweisen. In diesem Zuge wächst die Bedeutung der Ähnlich- und Wiederholtheitsuche. Aus diesem Grund wurde eine Bewertung der verschiedenen Verfahren vorgenommen.

3.3. Betrachtung von Wiederhol-, Ähnlich- oder Neuteilen in der Gießerei

Der Grad der Übereinstimmung mit Ähnlichteilen ist ein bestimmender Faktor, ob eine Neukalkulation oder eine effiziente Modifikation der Ähnlichteilendaten sinnvoll ist.

Im **Bild 3.22** wird der Zusammenhang zwischen dem Grad der Ähnlichkeit zweier Gussteile und der Entscheidung für ein Wiederhol-, Ähnlich- oder Neuteil verdeutlicht.

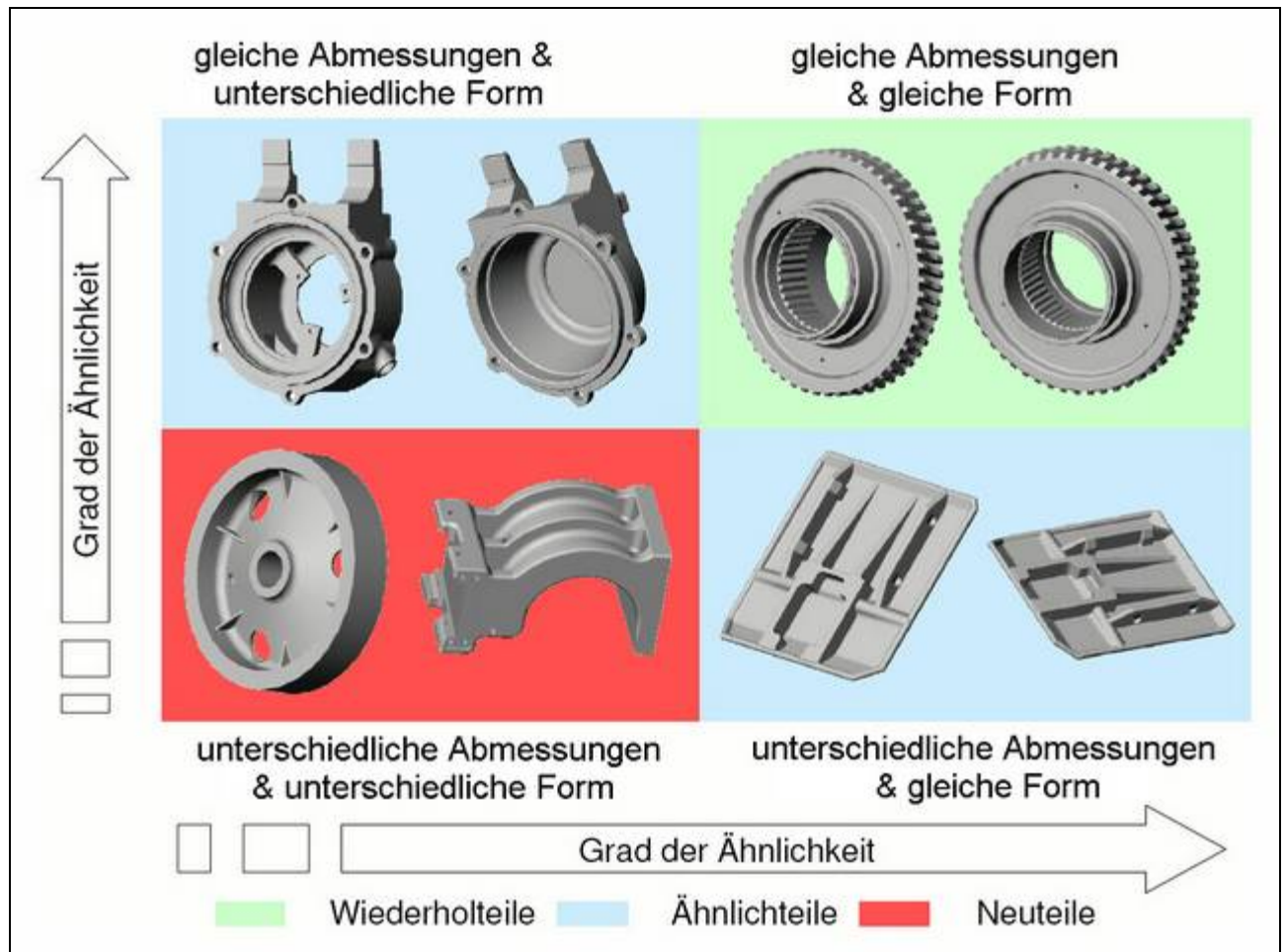


Bild 3.22 Entscheidung für ein Wiederhol-, Ähnlich- und Neuteil durch geometrische Formähnlichkeiten [76]

Für diese Betrachtungen wurden im **Abschnitt 3.2** zahlreiche Klassifikationsmethoden dargestellt, die nicht nur von subjektiven Entscheidungen abhängen, sondern auch nur bedingt Toleranzen zur Bestimmung eines Grades der Ähnlichkeit zulassen. Hinzu kommt, dass die einfließenden Erfahrungen sich meist nur auf ein und dieselbe Gießerei und damit auf innerbetriebliche Vergleiche stützen.

Weiterhin ist trotz des Einzuges des Computers in die Verwaltung von Gießereien der digitale Datenbestand oftmals nicht vollständig eingepflegt. Dies betrifft besonders gesicherte Daten aus Nachkalkulationen. Aus Kosten- und Zeitgründen werden kaum Varianten betrachtet. Selbst die Verwendung von 3D-CAD-Daten ist bei Weitem noch nicht in allen Eisengießereien angekommen.

Vergleicht man jedoch den Informationsgehalt einer Zeichnung, eines Fotos oder einer 3D-Konstruktion, ist schnell der Vorteil des Einsatzes von 3D-CAD-Daten erkennbar.

Der Aufwand für die Verwendung von 3D-Daten ist durch die erforderliche Software jedoch nicht unerheblich.

Ist sowohl beim Kunden als auch in der Gießerei ein solches System vorhanden, sind wiederum der Datenaustausch und die Kommunikation deutlich vereinfacht (**Bild 3.23**). Dass die ausschließlich geometrische Ähnlichkeitsbetrachtung aus gießereitechnologischer Sicht nicht ausreicht, wird in der Gegenüberstellung dreier geometrisch ähnlicher Schneckenräder im **Tabelle 3.10** deutlich.

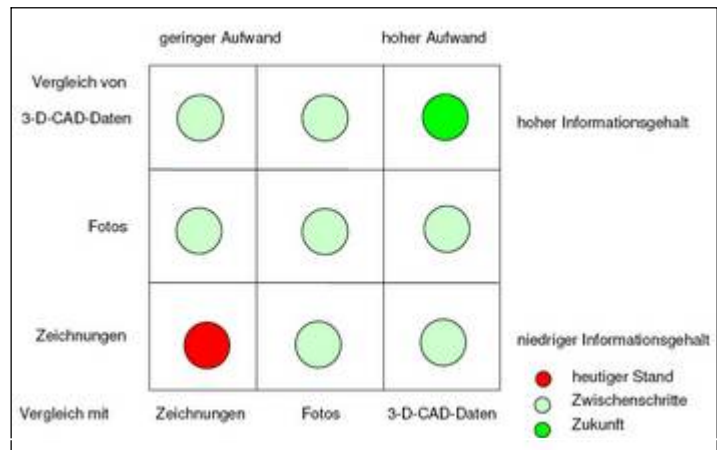


Bild 3.23 Möglichkeiten der rechtechnischen Ablage von Geometriedaten für Ähnlichkeitsvergleiche [76]

	Schneckenrad A	Schneckenrad B	Schneckenrad C
Fertigteilgeometrie			
Anzahl der Modelle pro Form	2 Modelle geteilt, Kunststoffausführung Schwindmaß 1%	4 Modelle geteilt, Kunststoffausführung Schwindmaß 1%	1 Modell geteilt, Kunststoffausführung Schwindmaß 1%
Bearbeitungszugaben	im OK = 3 mm, im UK = 3,5 mm, Seiten = 3,5 mm	im OK = 3 mm, im UK = 3,5 mm, Seiten = 3,5 mm	im OK = 7 mm, im UK = 4 mm, Seiten = 4 mm
Rohgewicht	= Liefergewicht: 56 kg	= Liefergewicht: 35 kg	= Liefergewicht: 120 kg
Anschnitt- und Speisersystem			
Formbelegung			

Tabelle 3.10 Vergleich der Technologie geometrisch ähnlicher Schneckenräder [83]

Trotz geometrischer Ähnlichkeit der Schneckenräder ergibt sich aus den unterschiedlichen Abmessungen und Massen auf der gleichen Modellplatte 950 x 750 mm (HSP3) eine nach Anzahl der Modelle differenzierte Plattenbelegung. Daraus resultiert ein unterschiedliches Anschnitt- und Speisersystem. Eine technologische Ähnlichkeit liegt also nur bedingt vor. Für eine Ähnlichkeitsbetrachtung beim Urformen sind eine ganzheitliche Betrachtung des Fertigungsprozesses und damit eine umfassende Analyse aller relevanten und erfassbaren Merkmale eines Gussstückes erforderlich.

➤ Merkmale für Ähnlichkeitsbetrachtungen bei Gussteilen

Eine entscheidende Voraussetzung für die Suche nach Ähnlichteilen stellt eine zweckmäßig Beschreibung der Fertigungsaufgabe dar. In [57] werden die unterschiedlichen Merkmale, unterteilt in:

- geometrische,
- stoffliche,
- fertigungstechnische und
- organisatorisch und wirtschaftliche Merkmale.

vorgenommen. In Bezug auf die Vorgehensweise bei der Angebotserstellung erhält sie als spezifisches Merkmal eine Kundenbewertung (**Bild 3.24**).

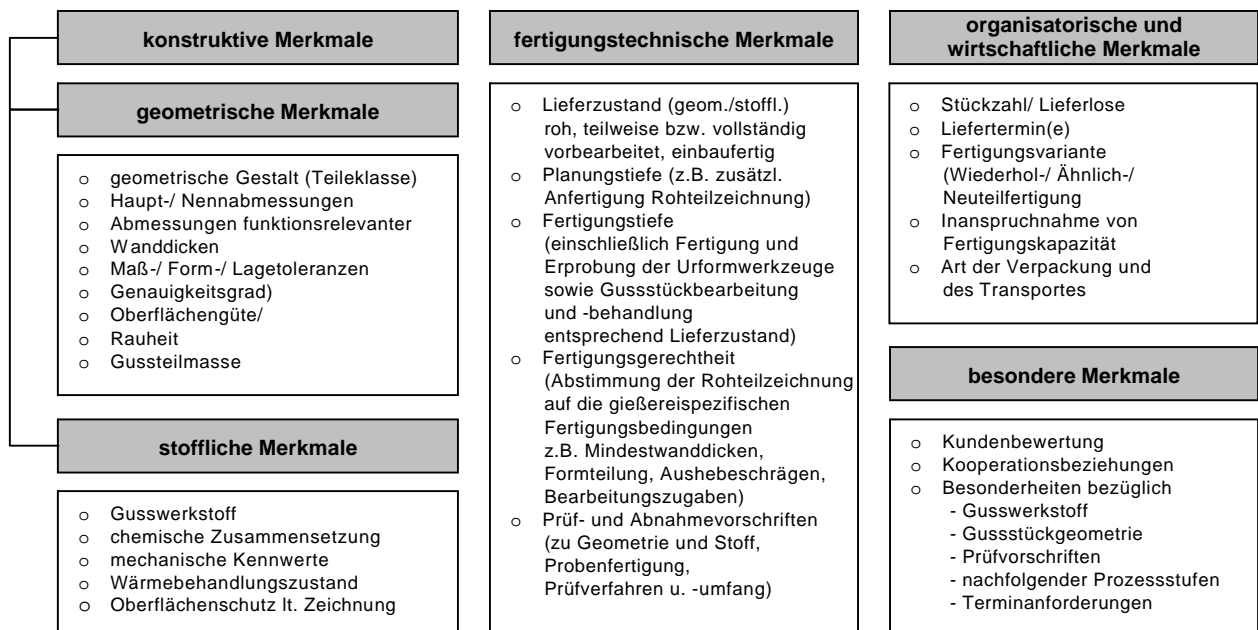


Bild 3.24 Merkmale von Fertigungsaufgaben der Gussstückfertigung [57]

3.4. Zusammenfassung zum Stand der Technik

Alle in den **Abschnitten 2 und 3** dargestellten Methoden und Verfahren verfolgen das Ziel, einen schnellen Zugriff auf Erfahrungswissen zu ermöglichen.

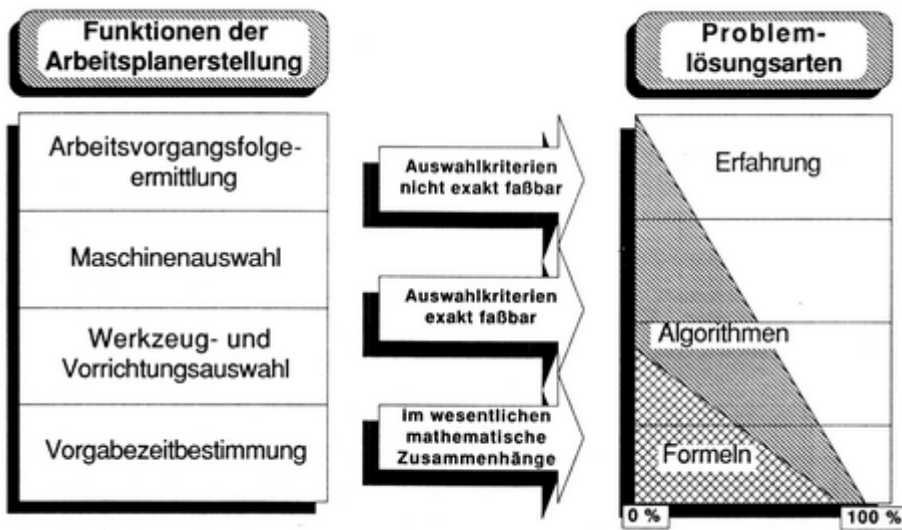


Bild 3.25 Funktionen und Problemlösungsarten bei der Arbeitsplanung [84]

Von der Vorkalkulation bis hin zur Auftragsbearbeitung bilden Erfahrungen, insbesondere in Gießereien aufgrund der Komplexität der zu berücksichtigten Prozessparameter, eine wichtige Grundlage. Im **Bild 3.25** wird der Zusammenhang der Arbeitsplanung der Anteile an Erfahrungswissen, dem Einsatz von Algorithmen und der unmittelbaren Verwendung von Berechnungen als Problemlösungsarten dargestellt. Folglich sind also zur Optimierung der Angebotsbearbeitung genau diese drei Problemlösungsarten zu untersuchen.

Die im **Bild 3.25** dargestellten Anteile von Erfahrung, Algorithmen und Formeln machen erneut den hohen Stellenwert des schon mehrfach erwähnten Erfahrungswissens deutlich. Das unterstreicht jedoch zusätzlich die Subjektivität eines Angebotes.

Die im **Abschnitt 2.5** dargestellte Zusammenfassung der recherchierten Hilfsmittel zur Arbeitsvorbereitung lässt erkennen, dass die angeführten Methoden zur Optimierung des Fertigungsprozesses keine Universallösungen darstellen, vielmehr sind stets weitere Hilfsmittel für den Planungsprozess erforderlich. Außerdem wird deutlich, dass fast immer mit deren Anwendung in der Planungsphase zusätzlicher Zeit- und Kostenaufwand verbunden ist.

Eine vergleichbare Situation stellt sich bei der Auswertung der im **Abschnitt 3.2.8** in der **Tabelle 3.10** zusammengefassten zahlreichen praktikablen Methoden für eine Klassifizierung von Teilen nach geometrischen Gesichtspunkten dar. Der Einsatz von Klassifizierungsschlüsseln schneidet im Hinblick auf das Verhältnis Aufwand und Nutzen am Besten ab.

Die für das Urformen in der **Tabelle 3.11** erfassten Klassifikationsverfahren nach Rosenberger, Czikel und Pacyna sind bewährte Verfahren, die zum Teil auch in aktuellen Softwarelösungen für Gießereien Anwendung finden. Sie reichen jedoch für eine rationelle Angebotserarbeitung auf der Basis einer Ähnlichteilsuche nicht mehr aus.

Merkmal	Rosenberger	Czikel	Pacyna
Werkstoff			numerische Werte, Eigenschaften
Größe		numerische Werte	numerische Werte
Fertigungsanforderungen	numerische Werte	numerische Werte	
Produktionsstatistik			numerische Werte
Geometrie	Eigenschaften	numerische Werte, Eigenschaften	numerische Werte

Tabelle 3.11 Vergleich Klassifikationsmethoden und erfasste Merkmale

Durch die Gruppenbildung können einzelne Selektionen nach Werkstoff, Größe, Gewicht, Geometriemerkmale oder auch technologischen Kriterien erfolgen. Doch erst die übergreifende Betrachtung mehrerer Merkmale führt im technologischen Sinne zu Ähnlichteilen, die für eine Angebotserarbeitung eine Reduzierung des Aufwandes zur Folge hat.

Es wurde erwähnt, dass eine rein geometrische Ähnlichkeitsbetrachtung für das Urformen unzureichend ist. Die Mehrzahl der beschriebenen Methoden basiert zudem auf subjektiv festzulegenden Eingangsgrößen.

Für eine rationelle und verlässliche Angebotserarbeitung auf der Basis von Ähnlichteilen werden jedoch ein hohes Maß an Objektivität und ein geringes Maß an Suchaufwand erwartet.

Aus einer eigenen Analyse verschiedener Gießereien bezüglich der Herangehensweise und eventueller Nutzung derartiger Methoden bei der Bearbeitung einer Anfrage ergab sich ein sehr differenziertes Bild. Das Spektrum an verwendeten Hilfsmitteln reichte von Zeichnungen bis hin zum Einsatz moderner 3D-CAD-Konstruktions- und Simulationssoftware. Auch der Einsatz der Rechentechnik für Datenerfassung und -verwaltung in den Gießereien muss differenziert bewertet werden.

4. Zielstellung der Arbeit

Nach Bewertung des „Standes der Technik“ wird deutlich, dass der Prozess vom Eingang einer Anfrage über die Angebotserarbeitung bis hin zur Bearbeitung eines Auftrages in der Gießerei komplex und von vielen Faktoren und Methoden abhängig ist. Bei jeder Anfrage werden auf der Basis von Erfahrungswissen Ähnlichkeitsüberlegungen zu bereits gefertigten Gussteilen angestellt. Dieser Prozess spielt sich oft nur im Kopf des Planers ab. Derartige Vorgehensweisen sind damit subjektiv und anfällig für Fehleinschätzungen.

Die bekannten Klassifikationssysteme für Gussteile, die zum Teil auch in aktuellen Softwarelösungen [04] verwendet werden, stellen eine bewährte und verlässliche Grundlage für eine grobe Einteilung von Gussteilen dar. Sie weisen jedoch Mängel im Hinblick auf eine detaillierte, gezielte und effiziente Ähnlichkeitsuche auf. Das Software-Tool „Geolus Search“ hingegen, welches jedoch den Einsatz von 3D-CAD voraussetzt, stellt eine äußerst effektive und von jeglicher Klassifizierungsmethode unabhängige Lösung zum Auffinden von geometrisch ähnlichen Teilen dar.

In der vorliegenden Arbeit werden die Betrachtungen zur geometrischen auf eine technologische Ähnlichkeit von Gussteilen erweitert, um Wege und Lösungsansätze für eine rationellere Angebotserarbeitung in Gießereien aufzuzeigen.

Technologische Ähnlichkeit ist immer teileklassenspezifisch. Die beabsichtigte Vorgehensweise ist daher vorzugsweise für Gießereien mit eng spezialisiertem Fertigungsspektrum geeignet. Daher wird das Untersuchungsfeld gezielt eingeschränkt (siehe **Anlage 6 Bilder 9.7 – 9.9**). Am Beispiel von Pumpenlaufrädern wird gezeigt, dass sich eine assistierende Ähnlichkeitsuche softwaretechnisch in den Angebotserarbeitungsprozess integrieren lässt und unter Hinzuziehung weniger gruppenspezifischer Merkmale eine schnelle Generierung des Arbeitsplanes und der erforderlichen Fertigungszeiten möglich sind.

Folgende Aufgaben ergeben sich hieraus:

- Erarbeiten technologischer Ähnlichkeitsmerkmale für den ausgewählten Laufradtyp,
- Entwicklung eines Assistenzsystems zur gezielten Ähnlichkeitsuche mit der Möglichkeit einer Verfeinerung bzw. Erweiterung der Trefferlisten,
- Nutzung dokumentierten Wissens (Arbeitspläne, Nachkalkulationen) zur Generierung von Arbeitsplänen für angefragte Gussteile, sowohl für den Fall der Neuteilgenerierung als auch für die Behandlung als Ähnlichteil sowie
- Berechnung von Vorgabe-, Vergleichs- oder Kontrollwerten für die Zeitkalkulation durch die Entwicklung eines mathematischen Modells auf der Basis von nachkalkulierten Arbeitsplandaten zur Berechnung der Fertigungszeiten für das Formen, die Kernmacherei, das Ausleeren und das Putzen von Laufrädern.

Da nur 5–10% aller Anfragen zu einem Auftrag führen [07], ist eine möglichst effiziente Angebotserarbeitung zu erreichen. Unabhängig davon ist jede Anfrage so verlässlich zu bearbeiten, dass sich aus dem abgegebenen Angebot ein eventueller Auftrag mit ausreichendem wirtschaftlichem Ergebnis ableiten lässt.

Ziel ist es also, auf der Grundlage von Erfahrungswissen den Prozess der Angebotserarbeitung zu rationalisieren und zu objektivieren.

Nachfolgende Vorgehensweise wird dafür gewählt:

1. Analyse von Arbeitsplänen in der Gießerei.
2. Bestimmung von Merkmalen für die technologische Ähnlichkeit des ausgewählten Laufradtyps.
3. Ableitung von Wirkungen aus Geometrie- und Technologieähnlichkeiten auf die Kalkulation.
4. Entwicklung eines Assistenzsystems zu einer gegliederten Ähnlichteilsuche.
5. Erarbeitung einer Berechnungsgrundlage für Fertigungszeiten auf der Basis des Erfahrungswissens.
6. Erste Erprobung des Rechenmodells in der Referenzgießerei.

Mit der Arbeit wird für ein eingegrenztes Teilespektrum eine exemplarische Lösung für die Angebotserarbeitung unter Berücksichtigung von Ähnlichteilbetrachtungen angestrebt. Hierdurch soll nachgewiesen werden, dass eine kurzfristige und verlässliche Erstellung von Angeboten für Gussteile unter Nutzung von Erfahrungswissen softwareunterstützt möglich ist.

Für das Aufwand-Nutzen-Verhältnis der Angebotserarbeitung ist eine schnelle Entscheidung, ein angefragtes Gussteil in der Kalkulation als Neuteil oder als Ähnlichteil zu behandeln, von Bedeutung. Eine wesentliche Zielsetzung der Arbeit ist es demnach, die Ähnlichteilsuche aus technologischen und damit für die Zeitkalkulation relevanten Gesichtspunkten für die ausgewählte Teilegruppe zu betrachten.

Dies ist als ein Beitrag zur Steigerung der Produktivität, Effektivität und Objektivität der Angebotserarbeitung in Gießereien auf der Basis von Untersuchungen, Auswertungen und daraus resultierenden Vorschlägen unter Verwendung moderner Rechentechnik zu werten.

Die Bedeutung der Zielsetzung wird durch die **Bilder 9.10 und 9.11 (Anlage 7)** verdeutlicht.

5 Hypothesen

- Die Angebotserarbeitung in Gießereien stützt sich auf ein hohes Maß an Erfahrungswissen. Es ist davon auszugehen, dass durch eine ständig wachsende Gussteilevielfalt die Systematisierung dieses Erfahrungswissens unter Berücksichtigung einer zuverlässigen Ähnlichteilbetrachtung an Bedeutung gewinnt.
- Der Ähnlichkeitsbegriff lässt sich für Gussteile im mathematischen Sinne auf Geometrien und Werkstoffe durch eine klare Klassifizierung anwenden. Jedoch reicht diese nicht für Ähnlichteilbetrachtungen im Angebotserarbeitungsprozess aus. Es ist zu erwarten, dass das Erkennen von technologischen Ähnlichkeiten maßgeblich für eine höhere Effizienz und eine Objektivierung in der Angebotserarbeitung ist.
- Die Anwendung vorhandener Klassifikationssysteme hat gezeigt, dass eine Ähnlichkeitsbetrachtung für technologische und wirtschaftliche Zwecke nicht ausreichend ermöglicht wird. Es wird erwartet, dass die präzise Herausarbeitung von zusätzlich notwendigen Eingabedaten bezüglich einer technologischen Ähnlichkeit zu einer schnellen Entscheidung führt, ob ein angefragtes Teil unter Verwendung von Ähnlichteilaten kalkuliert werden kann oder als Neuteil zu behandeln ist.
- Die Übernahme von Ähnlichteilaten für ein angefragtes Gussteil ist nicht in jedem Fall von Vorteil, besonders wenn der Modifikationsaufwand relativ hoch zu sein scheint. Es ist deshalb zu prüfen, ob dennoch unter Verwendung vorhandenen Erfahrungswissens eine schnelle Neuteilkalkulation möglich ist.
- Trotz einer Vielfalt vorhandener PPS-Systeme, selbst unter Beachtung von Branchenlösungen für Gießereien, ist keines zu einer wirklichen Ähnlichteilsuche auf der Basis von verbindlichen Eingabedaten verwendbar. Lediglich Selektionen auf Grundlage anzuwendender Klassifikationen oder Suchkriterien sind möglich. Es soll durch eine exemplarische Lösung gezeigt werden, dass, durch eine konkret auf den Fertigungsprozess ausgerichtete Dateneingabe, eine Ähnlichteilsuche effizient integrierbar ist.
- Laufräder stellen eine repräsentative Gruppe für in hohem Maße geometrisch ähnliche Gussteile dar. Aufgrund dieser Tatsache sind Laufräder für eine systematische Untersuchung im Hinblick auf eine technologische Ähnlichkeit gut

geeignet. Eine gründliche Analyse von Arbeitsplänen bereits hergestellter Laufräder sollte eine Grundlage für das Erfassen von Zusammenhängen zwischen Eingangsgrößen und der Erstellung eines Arbeitsplanes bilden. Es wird vermutet, dass für diese Gussteilgruppe durch wenige Zusatzeingaben eine klare technologische Bewertung möglich ist, die für eine automatische Arbeitsplangenerierung und zur Zeitkalkulation verwendet werden kann.

- Der unterschiedliche Ausstattungsgrad von Gießereien mit Rechentechnik und Softwarewerkzeugen lässt kaum eine Verallgemeinerung von Arbeitstechniken zu. Aus diesem Grund sollte die Auswahl einer Gießerei mit einem, für Neuerungen aufgeschlossenen Management zum Erfolg einer Untersuchung beitragen. Es wird davon ausgegangen, dass diese Einschränkung sich als vorteilhaft auf die Qualität der Untersuchungsergebnisse auswirken wird und dadurch Verallgemeinerungen zum untersuchten Sachverhalt ableiten lassen.
- Die kompetenzorientierte Arbeitsteilung zwischen Mensch (Arbeitsvorbereiter) und rechnergestütztem Werkzeug (Software) ist dann effizient, wenn das Werkzeug der allgemeinen Arbeitsstruktur des Bearbeiters folgt und diese sinnvoll unterstützt. Aus diesem Grund wird vermutet, dass ein erforderlicher Mehraufwand zur Datenerfassung in der Praxis sich nur rechtfertigen lässt, wenn der daraus resultierende Qualitäts- und Zeitgewinn für den Planer offensichtlich ist (**vgl. Anlage 8**).
- Um wirtschaftlich signifikante Ergebnisse beim Einsatz von Ähnlichkeitsbetrachtungen in einer Gießerei zu erzielen, ist davon auszugehen, dass folgende Anforderungen an eine rechnergestützte Klassifikation gestellt werden müssen:
 - Erfassung werkstofflicher, geometrischer und fertigungstechnischer Merkmale in einer Datenbank.
 - Einsatz eines Recherchemoduls für die Suche nach Ähnlichteilen nach frei wählbaren, jedoch gussteilbezogenen Werkstoffmerkmalen und/oder geometrischen und/oder fertigungstechnischen Merkmalen.
 - Eine schnell erkennbare und nachvollziehbare Aufbereitung von Arbeitsplänen aus Ähnlichkeitsbetrachtungen zur Übernahme in die Angebotskalkulation eines angefragten Gussteils.

6 Untersuchungsergebnisse

Nach einer ersten Analyse der Arbeitsweise in verschiedenen Gießereien bezüglich der Auftragsbearbeitung wurden sowohl in der rechentechnischen Ausstattung, der verwendeten Hilfsmittel als auch bezüglich der Arbeitsteilung zwischen den beteiligten Personen gravierende Unterschiede festgestellt. So reichte die Softwareausstattung und -nutzung von Standard-PPS-Systemen bzw. ERP-Programmen über die Nutzung von CAD-Systemen bis hin zur Verwendung von Simulationsprogrammen. Auf Grund der unterschiedlichen Größe der Gießereien waren von einem bis zu fünf Mitarbeitern an der Erarbeitung eines Angebotes beteiligt. In einer Gießerei wurden Ähnlichkeitbetrachtungen durch ein betriebsinternes Bild-Archiv unterstützt, während sich in den anderen Gießereien diese ausschließlich auf das Erinnerungsvermögen des Planers stützten. Eine systematische und vergleichbare Auswertung ist daher über mehrere Gießereien kaum möglich gewesen. Aus diesem Grund wurden die Untersuchungen auf eine Gießerei fokussiert, wengleich auch Erfahrungen aus den Interviews mit den anderen Gießereien genutzt wurden.

Bei der Auswahl der Gießerei war das gemeinsame Interesse an einer Zusammenarbeit maßgebend. Das Mitarbeiterteam der ausgewählten Gießerei stand den Untersuchungen von Anfang an aufgeschlossen gegenüber.

Im Produktionsprogramm der ausgewählten Gießereien dominieren Pumpenteile. Aus dem breiten Gussteilesortiment wurden Laufräder als Untersuchungsobjekte ausgewählt, weil sich hierbei das Ähnlichkeitsprinzip am deutlichsten abbilden lässt.

Durch unterschiedliche Einsatzgebiete, Förderhöhen, Drücke, Fördermedien und

Standzeiten ergeben sich seitens der Pumpenhersteller eine große Teilevielfalt (Geometrien) und ein breites Spektrum unterschiedlicher Werkstoffe.

Die Einschränkung auf die Untersuchung von Laufrädern erlaubt es, exemplarisch die unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die Ähnlichkeitsbetrachtung bei Gussteilen zu ermitteln.

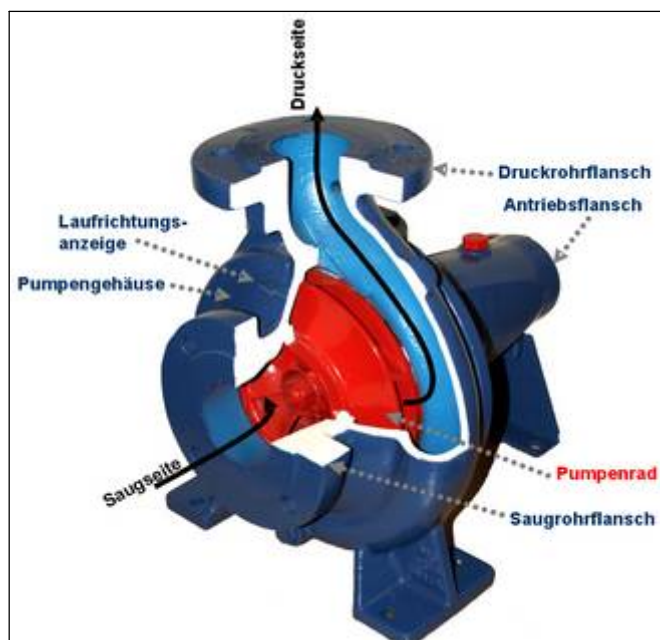


Bild 6.1 Laufrad als Kernstück einer Kreiselpumpe [85]

In der untersuchten Gießerei konnte eine große Anzahl von Laufrädern unterschiedlicher Pumpenhersteller, unterschiedlicher Geometrien und Dimensionen, aus unterschiedlichen Werkstoffen untersucht und bezüglich der Arbeitspläne verglichen werden.

Die ausgewählte Gießerei zeichnet sich somit durch folgende Kriterien aus:

- ein aufgeschlossenes Management für Untersuchungen,
- ein breites Teilespektrum bezüglich der ausgewählten Laufräder,
- das Gießen (z.T. identischer) Laufräder aus verschiedenen Werkstoffen sowie
- ein mittlerer Ausstattungsgrad an Rechentechnik, (repräsentativ für zahlreiche Gießereien, d.h. die Verwaltung arbeitet intern vernetzt auf der Basis einer gemeinsamen Datenbank, wobei Viewer und Schnittstellen zu externen Programmen genutzt werden).

Die ausgewählte Gießerei lässt sich wie folgt charakterisieren:

Im Unternehmen sind 44 Mitarbeiter beschäftigt. Die Gesamtgussteilproduktion gliederte sich für 2007 in 25% Kupfer-Legierungen, 25% Gusseisen mit Kugelgraphit und 50% Gusseisen mit Lamellengraphit. Der Anteil der Handformerei, bezogen auf die Gussmasse, betrug 65% und der Anteil der Maschinenformerei 35% des Umsatzes. Bezogen auf die Laufradstückzahlen stellt sich das Verhältnis von 40% Handformteilen zu 60% Maschinenformteilen dar.

Für die Maschinenformerei stehen Rüttel-Press-Formmaschinen (Arbeit mit synthetischem Sand) zur Verfügung, während für die Handformerei Durchlaufmischer (Verwendung von Furanharz) zum Einsatz kommen. In der Kernmacherei werden ebenfalls ein Durchlaufmischer (Furanharz) und Kernschießmaschinen für das Cold-Box-Verfahren eingesetzt.

Im Schmelzbetrieb sind MF-Tiegelöfen (3 t) und gasbeheizte Tiegelöfen (250 – 750 kg) vorhanden.

Im Jahr 2007 wurden insgesamt 47.300 Gussteile von 4.526 Modellen gefertigt. Der Anteil der Laufradproduktion betrug ca. 60 – 70% (geschätzt).

Für die Durchführung der Untersuchungen wurden drei Schwerpunkte formuliert:

1. Analyse der Arbeitsweise bei der Bearbeitung einer Anfrage und den sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Angebotserarbeitung für Laufräder.
2. Auswertung einer Befragung zur Angebotserarbeitung in mehreren Gießereien zur Herangehensweise, Verwendung von Hilfsmitteln und eventueller Arbeitsteilung.
3. Analyse der Arbeitspläne zu den aus dem Teilestamm selektierten Laufrädern als Basis für Ähnlichkeitbetrachtungen.

6.1 Untersuchungen zur Angebotserarbeitung für Laufräder

Durch die Analyse des Angebotserarbeitungsprozesses für Laufräder in der ausgewählten Gießerei wurde, neben den allgemein bekannten Einflussfaktoren, wie Werkstoff, Masse, Geometrie, Losgrößen und Qualitätsanforderungen, der Umgang mit der Modellfertigung / -verwendung als eine Schlüsselrolle erkannt. Nachfolgend wird näher darauf eingegangen.

6.1.1 Varianten der Angebotserarbeitung in Abhängigkeit von der Modellbereitstellung

Die unterschiedliche Verfahrensweise zur Bereitstellung von Modellen durch den Kunden für die Gießerei hat einen wesentlichen Einfluss auf die Fertigungsplanung und damit auf die Vorkalkulation. Es treten im Wesentlichen drei Varianten auf:

- (1) Das Modell ist noch nicht vorhanden.
 - a) Es wird mit „angefragt“.
 - b) Es wird bei einem Modellbaubetrieb fremd angefragt.
- (2) Das Modell ist bereits vorhanden und für die Produktion in der zu beauftragenden Gießerei angepasst (Modellplatte, Kastengröße, Maschinenformerei).
- (3) Das Modell ist vorhanden, erfordert jedoch noch Anpassungen an die Bedingungen der Gießerei. (Handformmodell, Modellplatte ohne Anschnittsystem oder bei Gießereiwechsel).

Fast alle Anfragen werden auf der Basis einer Fertigteilzeichnung gestellt. Existiert noch kein Modell müssen Einformlage, Modellteilung und Kerne von der Gießerei in Absprache mit dem Modellbau vorgedacht und konzipiert werden.

Für Laufräder sind Einformlage und Modellteilung auf Grund der Rotationskörperform [86] weitestgehend festgelegt (**Bild 6.2**). Lediglich die Gestaltung der Kerne (z.B. Segmentierung der Schaufel wegen einer nicht einformbaren Krümmung oder die Verwendung eines zusätzlichen Bohrungskerns) hat einen unmittelbaren Einfluss auf die Kalkulation der Zeiten der Kernmacherei und u.U. für die Formerei bezüglich des Zusammenbaus der Form.

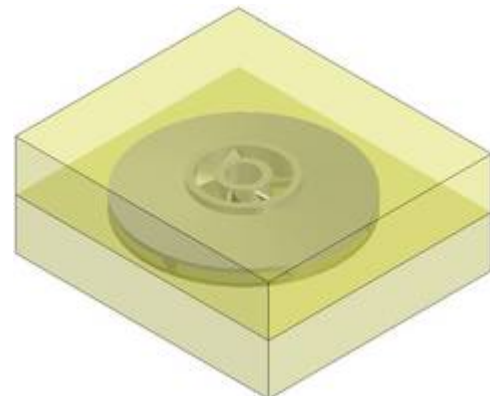


Bild 6.2
Standard-Einformlage für Laufräder

Einen weiteren bedeutenden Einfluss auf die Kalkulation hat die Entscheidung, welchen Mechanisierungsgrad die zur Formherstellung zu verwendende Ausrüstung (Automaten-, Maschinen- oder Handformerei) aufweist. Diese Entscheidung wiederum hängt von der angefragten Stückzahl und den zu planenden Losgrößen als auch von der Größe des angefragten Teiles ab. Von kalkulatorischer Bedeutung ist ebenfalls der Aspekt, dass u.U.

beim Handformen eine Mischung verschiedener Teile mit gleichen Technologiemerkmale (Werkstoff, Gießtemperatur, Wanddicken, Erstarrungsverhalten) in einer gemeinsamen Form möglich ist.

Dieser Aspekt bleibt in der Angebotserarbeitung jedoch unberücksichtigt, da derartige Entscheidungen in der Regel erst während der Produktionsplanung getroffen werden. Leider wird die Mischung von Gussteilen in einer Form nicht als Erfahrungswert erfasst, sodass auch später in einer Ähnlichkeitkalkulation nicht darauf zurückgegriffen werden kann. Dies wird jedoch als Reserve für die weitere Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Gießereiunternehmens angesehen.

Selbst bei technologisch ähnlichen Teilen und übereinstimmenden Stückzahlen und Losgrößen in einer Anfrage, werden die Teile einzeln kalkuliert. Trotz der theoretischen Möglichkeit, werden derartige Teile selten gemeinsam auf eine gemeinsame Modellplatte gebracht. Für das Gießen im gleichen Kasten findet eine Mischung von Gussteilen nur in der Handformerei statt. Da Stückzahlen und Losgrößen für Laufräder meist klein sind, lässt sich so eine Nachproduktion bei Ausschuss einfacher organisieren. Bei einer Modellplattenbelegung mit unterschiedlichen Teilen für die Maschinenformerei würde für die Nachproduktion eines Ausschussteiles ansonsten ein unnötig hoher Form- und Gießaufwand für alle auf der Modellplatte befindlichen Teile entstehen. Durch die flexible Handformerei können Nachproduktionsteile mit geringem Aufwand hingegen entweder einzeln oder gemeinsam mit anderen technologisch ähnlichen Teilen in einer Form gegossen werden. Aus diesem Grund kommen bei der Maschinenformerei eher kleinere Formkästen und auch meist Einzelmodelle auf der Platte zum Einsatz. Mehrfachplattenbelegungen wurden nur bei sehr kleinen¹ Laufrädern vorgefunden. Dennoch könnte diese höhere Effizienz durch eine Erfassung von Erfahrungswerten der Mischung von Gussteilen im gleichen Kasten als prozentualer Faktor in die Kalkulation einfließen.

Ist das Modell Bestandteil der Anfrage, kann es von der Gießerei in zweckmäßiger Weise auf den eigenen Fertigungsprozess geplant werden. In diesem Fall ist der Aufwand für die technologische Planung durch die Gießerei deutlich höher, da zur Modellplanung aus den Fertigteildaten, Rohteildaten generiert, die Einformlage, Modellteilung, Kerne, Plattenbelegung, Anschnitt und Speiser und Entlüftung geplant werden müssen. Da viele Gießereien über keinen eigenen Modellbau verfügen, wird die Modellkalkulation zur Erarbeitung des Angebots bei einem Modellbaubetrieb angefragt, der die Bedingungen der Gießerei kennt und somit das Modell auf die Gießerei „zuschneidet“. Die Ergebnisse

¹ Anmerkung: In der untersuchten Gießerei gelten folgende Durchmesser der Laufräder als klein: < 200 mm

werden in die Kalkulation der Gießerei integriert. Verfügt die Gießerei über einen eigenen Modellbau, wird dieser mit der Modellgenerierung beauftragt und die Angebotserarbeitung hausintern gelöst. In beiden Fällen entscheidet die Gießerei über die Auswahl des Formkastens, die Plattenbelegung und damit auch über Varianten für das Anschnitt- und Speisersystem.

Problematisch ist der Fall, wenn der Kunde das Modell einem Modellbaubetrieb in Auftrag gibt, der unabhängig von den Bedingungen der Gießerei ein Modell generiert. In solchen Fällen sind meist vor der Auftragsbearbeitung noch Änderungen, also Mehraufwand erforderlich. Im Interesse einer hohen Effizienz und kurzer Bearbeitungszeiten erfolgen in der Praxis aus den gewachsenen Strukturen zwischen Kunden und Gießereien fast immer klare Absprachen bezüglich der Gestaltung der Modelleinrichtung. Anschnitt- und Speisersystem werden bei der Angebotserarbeitung in der Referenzgießerei meist pauschal in Gemeinkosten verbucht und erst bei der Auftragserteilung konkret festgelegt.

Im Fall (2) ist das Modell vorhanden bzw. sogar schon auf einer Modellplatte montiert, die in der Gießerei sofort zum Einsatz kommen kann. Dieser Fall entspricht im Hinblick auf die Fertigungsplanung einer Anfrage, in der die Modellfertigung Bestandteil der Anfrage ist. Es bleibt lediglich die Kalkulation des Modells erspart, ansonsten liegen günstige Bedingungen für eine Fertigungsplanung und damit für die Angebotserarbeitung vor.

Auch der dritte Fall stellt sich vergleichbar mit dem unter (3) genannten Verfahren dar. Dieser Fall tritt beispielsweise dann ein, wenn der Kunde die Gießerei oder den Werkstoff wechselt. Gründe können sein, dass sich die Gießerei nur auf ausgewählte Werkstoffe spezialisiert hat oder auch eine temporäre Überlastung der Produktionskapazitäten vorliegt und Liefertermine nicht machbar sind. Bei Wechsel eines Modells in eine andere Gießerei sind meist Modifikationen am Modell nötig, um eine Anpassung an die vorhandenen Fertigungsbedingungen zu ermöglichen. Dazu zählen beispielsweise die Verwendung anderer Modellplattengrößen sowie Änderungen am Anschnitt- und Speisersystem auf Grund anderer betrieblicher Erfahrungen. Der häufigste Änderungsgrund ist jedoch die Verwendung der gleichen Modelleinrichtung für das Gießen in unterschiedlichen Werkstoffen. Hierbei sind auf Grund von Unterschieden bei der Flüssig- und Festschwindung verschiedener Werkstoffe eigentlich unterschiedliche Modelleinrichtungen erforderlich. Aus Kostengründen (bzgl. einer zweiten Modelleinrichtung) werden aber oft nur Modifikationen vorgenommen. Dabei wird in Kauf genommen, dass das gegossene Rohteils einen Kompromiss mit erhöhten Materialzugaben dargestellt, was mit stark erhöhtem Aufwand für die nachfolgende mechanischen Bearbeitung zum Fertigteil verbunden ist.

Bereits bei der Prüfung der Anfrageunterlagen auf deren Vollständigkeit erfolgt die Klärung des Modellstatus. Auch während der Angebotserarbeitung ist eine Kommunikation mit dem Kunden bzw. mit dem Modellbaubetrieb von Vorteil, um ein möglichst präzises Angebot erarbeiten zu können.

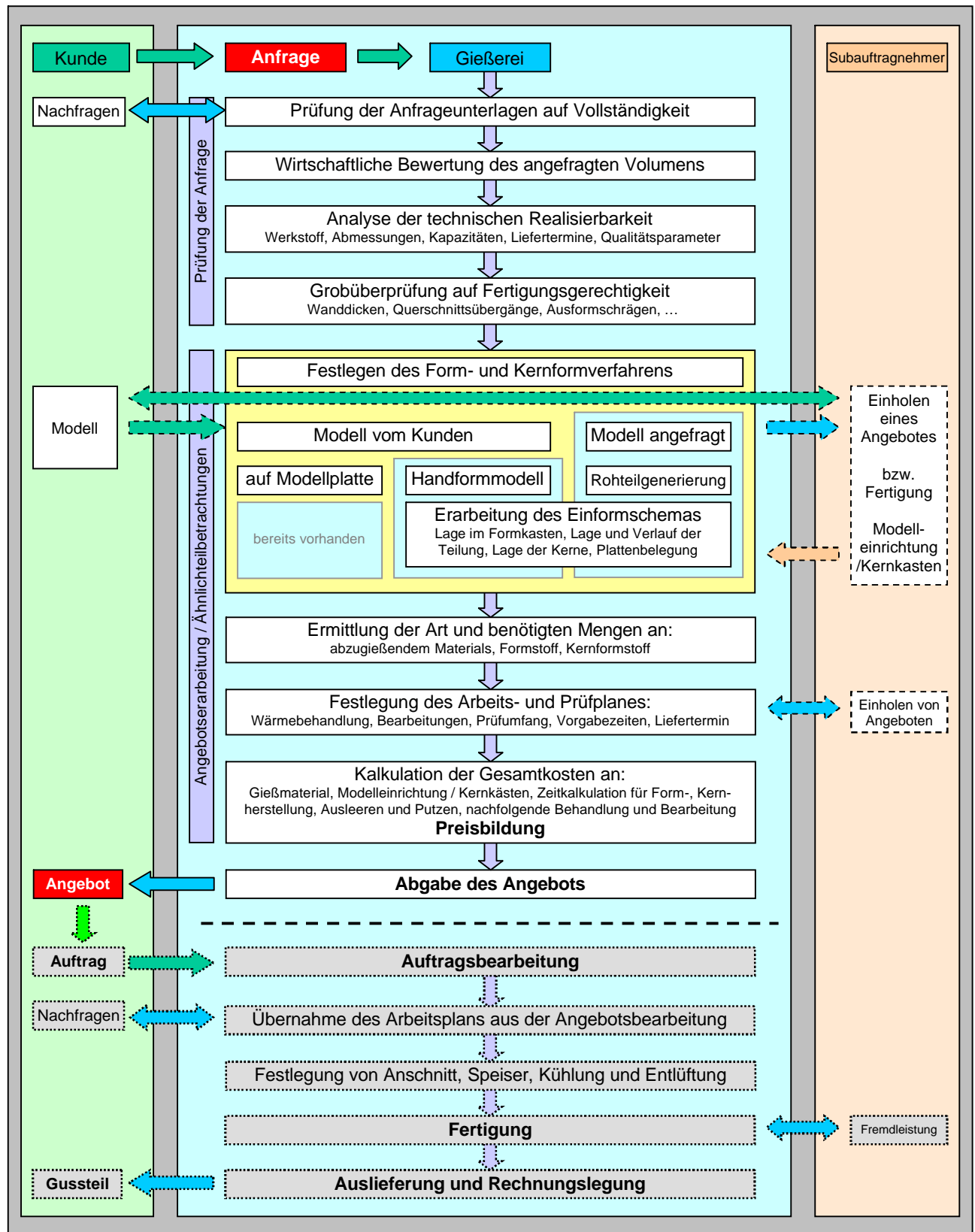


Bild 6.3 Schritte der Angebots- und Auftragsbearbeitung in der betroffenen Gießerei

Zur Veranschaulichung wurden die hier beschriebenen Varianten und deren Auswirkungen auf den Angebotserarbeitungsprozess und deren Wiederverwendung bei einer möglichen Auftragserteilung im **Bild 6.3** schematisch dargestellt.

6.1.2 Analyse des Angebotsprozesses und verwendete Hilfsmittel

In Gesprächen sowohl mit Arbeitsvorbereitern in Gießereien als auch mit Gießereikunden stellte sich heraus, dass die Kommunikation zwischen beiden einen hohen Stellenwert für eine zügige Angebotserarbeitung einnimmt. Ebenso wirkt sich eine beiderseits gute Kenntnis der innerbetrieblichen Abläufe bei langjährigen Partnerschaften positiv auf eine effiziente Angebotserarbeitung aus.

Als Grundlage der Entwicklung einer zweckmäßigen Methode der Ähnlichteilplanung wurde durch eine aktuelle Befragung von mehreren Laufrad-Gießereien die Angebotserarbeitung hinsichtlich:

- der erforderlichen Daten / Unterlagen,
- Vollständigkeit der Unterlagen / Anzahl der Rückfragen,
- der verwendeten Hilfsmittel,
- der Suche nach Ähnlichteilen / Detailliertheit der Ähnlichteilplanung,
- der Methoden der Angebotserstellung / der dabei zeitintensivsten Aufgaben und
- der Angebotsinhalte bzw. Absagegründe

einer kritischen Prüfung unterzogen.

Hierzu wurde den Gießereien ein Fragebogen vorgelegt (siehe **Anlage 9**).

Die Fragestellung wurde dennoch weitestgehend allgemein gehalten, um Verallgemeinerungen für das Gießen in verlorene Formen zuzulassen.

Leider nahmen nur drei der fünf angeschriebenen Unternehmen an der Befragung teil. Die Auswertung dieser Befragung (**Anlage 10**) ergab dennoch Hinweise zu den Arbeitspraktiken, zum Ausstattungsgrad an Rechentechnik und zum Stellenwert von Erfahrungswissen in unterschiedlichen Gießereien bezüglich der Angebotserarbeitung.

Der Angebotsprozess verläuft in den befragten Gießereien im Wesentlichen in vier Schritten:

1. Prüfung der Anfrageunterlagen auf Vollständigkeit
2. Entscheidung auf Realisierbarkeit durch die Gießerei
3. Erstellen des Arbeitsplanes unter Einbeziehung von Fremdleistungen
4. Kalkulation meist auf der Basis von Zeitwerten

Im Folgenden werden diese Schritte detailliert bezüglich der Befragungsergebnisse betrachtet.

➤ **Prüfung der Anfrageunterlagen auf Vollständigkeit**

Wenngleich die Befragung der Gießereien keine vollständige Übereinstimmung bezüglich der zwingend erforderlichen Anfrageunterlagen ergeben hat, können folgende Unterlagen bzw. Informationen als erforderlich für die Bearbeitung einer Anfrage (siehe auch Merkmale **Tabelle 2.2**) angesehen werden:

- Bezeichnung des Gussteils (einschließlich Teilbeschreibung),
- Zeichnung (Fertigteil- oder Rohteilzeichnung bzw. verfügbares Modell),
- Werkstoff, Roh- bzw. Fertiggewicht,
- Stückzahl und Losgrößen (unter Angabe von Liefertermin/Lieferfolge),
- Spezielle Qualitätsanforderungen (Normen und Prüfvorschriften) sowie
- Nachbehandlung und Oberflächenanforderungen (z.B. Glühen, Strahlen, Grundieren).

Je nach Vollständigkeitsgrad der Unterlagen / Informationen findet eine Kommunikation zwischen Gießerei und Kunden zur Klärung von Fragen statt.

➤ **Entscheidung auf Realisierbarkeit durch die Gießerei**

Auf Basis dieser Informationen treffen die befragten Gießereien die Entscheidung über eine Realisierbarkeit des angefragten Teils. In den befragten Gießereien gilt ein Gussteil als realisierbar, wenn:

- Der Werkstoff zum Produktionsprofil gehört.
- Das angefragte Teil ist gießereitechnisch realisierbar ist.
- Das angefragte Teil einformbar ist (Kastengröße vorhanden).
- Die Stückzahlen / Losgrößen umsetzbar sind.
- Die Qualitätsanforderungen erfüllbar sind.
- Die angegebene Lieferfrist realisierbar ist.

Die aufgeführten Kriterien werden in Abhängigkeit von der Arbeitsteilung in den Gießereien von unterschiedlichen Mitarbeitern (siehe **Abschnitt 2.1.2**) anhand der Anfrageunterlagen entschieden. Bei Anfragen mit Preisvorgaben basiert die Entscheidung auf einer Kalkulation und damit auf einer vollständigen Arbeitsplanerstellung, Mengen- und Zeitbestimmung.

➤ **Erstellen des Arbeitsplanes unter Einbeziehung von Fremdleistungen**

Für eine wirtschaftliche Erstellung von Arbeitsplänen und der darauf aufbauenden Kalkulation (meist Zeitkalkulation) ist die Betrachtung von Ähnlichteilen vorteilhaft. Alle befragten Gießereien bestätigten dies in ihren Antworten. Jedoch wird im Zusammenhang mit der Ähnlichteilkalkulation fast ausschließlich auf das Erfahrungswissen des Arbeitsvorbereiters verwiesen. Ebenso wurde das Fehlen geeigneter Werkzeuge für eine

objektive Ähnlichkeitsuche bestätigt. Das Erinnerungsvermögen, zum Teil der Klassifizierungsschlüssel, eine entsprechende Modellnummer oder auch erste Anfänge von Fotodokumentationen, wurden als Basis einer Ähnlichkeitsuche angegeben.

Bei der Frage nach der Fertigung von identischen Teilen in unterschiedlichen Werkstoffen, wurde deutlich, dass dies häufig unter Verwendung des gleichen Modells erfolgt. Die Arbeitspläne werden in diesem Fall überarbeitet, weil die Gießtechnologie sich ändern kann. Es können sich aufgrund anderer Werkstoffeigenschaften zusätzliche Arbeitsschritte oder abweichende Fertigungszeiten und meist auch veränderte Qualitätsanforderungen ergeben.

➤ **Kalkulation meist auf der Basis von Zeitwerten**

Bei der Kalkulation von angefragten Gussteilen sind im Wesentlichen zwei Arbeitstechniken anzutreffen:

Der häufigste Fall ist die Behandlung als Neuteil. Damit gehen ein hoher Planungs- und Kalkulationsaufwand und die Anwendung von subjektiven Erfahrungsgrößen für die Zeitkalkulation einher. Aus Zeitgründen sind oft keine detaillierte Ablauf- und Technologieplanung und damit eine zuverlässige Angebotserstellung möglich.

Andernfalls werden als Hilfsmittel für die Kalkulation von vermeintlichen Ähnlichteilen in den vorhandenen Softwarelösungen lediglich die Verwendung von betriebsspezifischen Kalkulationsdaten und das Kopieren und Editieren vorhandener Datensätze angegeben. Diese Methode birgt allerdings eine zusätzliche Fehlerquelle: Derart „eingepflegte“ Daten können durch eine unvollständige Bearbeitung fehlerhaft sein und für eine nächste Kalkulation vervielfältigt werden, also zu Folgefehlern führen. Bei der Analyse der 75 erfassten Arbeitspläne in der Referenzgießerei sind sechs Beispiele für solche offensichtlichen Fehler aufgefunden worden.

Zwei allgemeine Erkenntnisse wurden zusätzlich aus den durchgeführten Untersuchungen zum Angebotsprozess gewonnen. Auf der einen Seite ist aufgrund der wachsenden Qualitätsansprüche der Kunden eine Spezialisierung der Gießereien auf bestimmte Werkstoffe oder Gießverfahren unabdingbar. Auf der anderen Seite nimmt die Teilevielfalt rasant zu, so dass wiederum den Gießereien eine hohe Flexibilität in der Planung und Fertigung abverlangt wird.

Aus diesem Grund ist eine hohe Effizienz und Zuverlässigkeit der komplexen Entscheidungen in der Angebotserarbeitung erforderlich.

6.1.3 Analyse von Arbeitsplänen zur Untersuchung von Ähnlichkeitsmerkmalen

Nachdem in den **Abschnitten 6.1.1 und 6.1.2** die Arbeitsebene zwischen Kunde und Gießerei untersucht und dargestellt wurde, sollten nun durch eine Analyse von Arbeitsplänen weitere Erkenntnisse zur Vorbereitung von Ähnlichkeitsbetrachtungen für die Angebotserarbeitung ermittelt werden. Dazu war jedoch zunächst eine Analyse des Teilespektrums erforderlich.

Es wurde bereits begründet, dass hierzu eine Gießerei ausgewählt wurde, die günstige Bedingungen für derartige Untersuchungen bot. Weiterhin wurde das zu untersuchende Gussteilespektrum auf Pumpenlaufräder eingegrenzt. Nach einer genaueren Untersuchung der geometrischen Ähnlichkeit, können so auch Werkstoff- und technologische Ähnlichkeit betrachtet werden.

➤ Klassifikation von Laufrädern

Laufräder in Kreiselpumpen können anhand verschiedener Merkmale klassifiziert werden. Nach der Strömungsrichtung der Förderflüssigkeit am Laufradaustritt unterscheidet man beispielsweise entsprechend **Bild 6.4** Laufräder in Kreiselpumpen radialer, diagonaler und axialer Bauart.

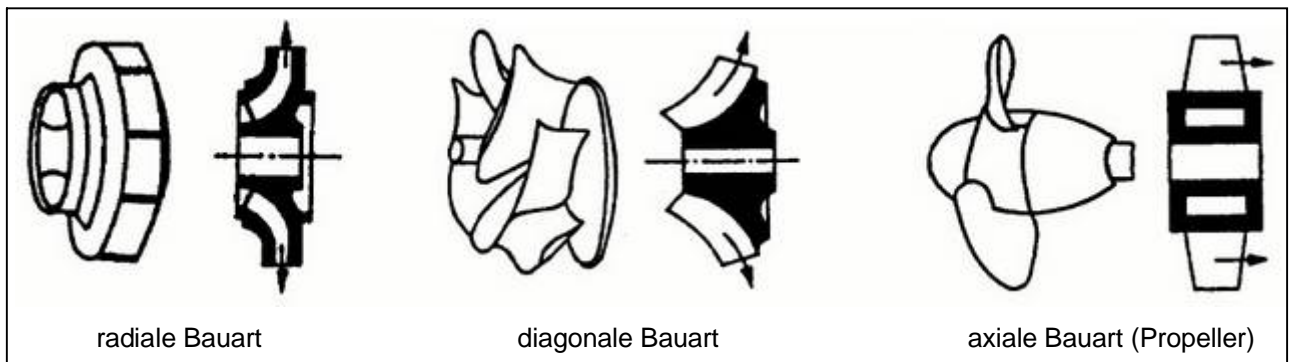


Bild 6.4 Verschiedene Bauarten von Laufrädern [87]

Nach der Flüssigkeitsführung im Laufrad erfolgt eine weitere Einteilung in ein- bzw. zweiströmige Laufräder (**Bild 6.5**).

Die in Kreiselpumpen am häufigsten verwendeten Laufräder sind einströmige Radiallaufräder.

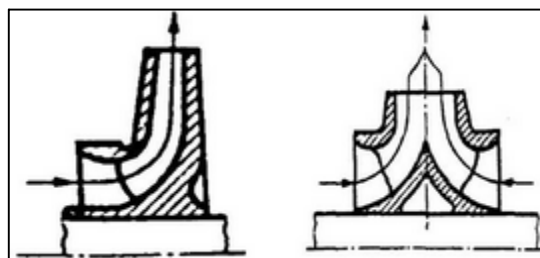


Bild 6.5 Ein- und zweiströmige Laufräder [87]

Hierbei sind nach [88], [89] grundsätzlich drei verschiedenen Bauformen anzutreffen.

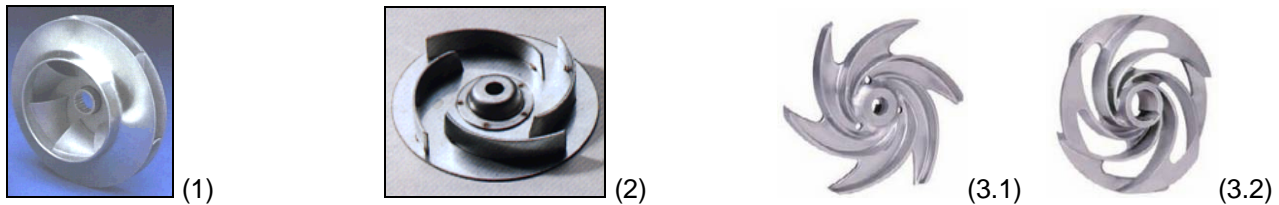


Bild 6.6 Verschiedene Bauarten von Radiallaufrädern [88], [89]

Legende: (1) – geschlossenes Laufrad
 (2) – halboffenes Laufrad
 (3.1) – offenes Laufrad
 (3.2) – offenes Laufrad

Die im **Bild 6.6** dargestellten Bauformen von Radiallaufrädern unterscheiden sich in ihren Geometrien aufgrund unterschiedlicher Einsatzgebiete bzw. Förderbedingungen. Die Schaufeln des Laufrades (1) sind beidseitig durch je eine Scheibe verbunden. Aus diesem Grund wird es auch als geschlossenes Laufrad bezeichnet. Es zeichnet sich durch einen günstigen Wirkungsgrad aus, da aufgrund der geschlossenen Form die strömende Flüssigkeit keinerlei Wechselwirkung zum Pumpengehäuse erfährt. Es ist das am meisten verwendete Kreiselpumpenlaufrad [90], [91]. Halboffene (2) oder offene Laufräder (3.1) und (3.2) im **Bild 6.6** haben zwar keinen so hohen Wirkungsgrad, sind jedoch besser in der Lage Lufteinschlüsse in der Förderflüssigkeit zu transportieren. Allerdings hat das auch eine geringere Förderhöhe zur Folge.

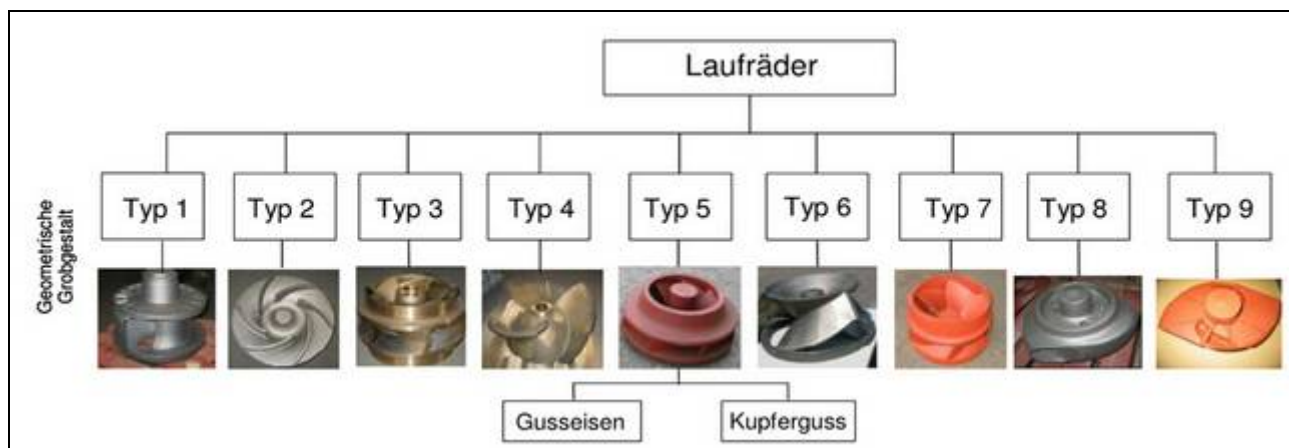


Bild 6.7 Geometrische Grobklassifikation von Laufrädern [92]

In [92] wird basierend auf Geometrieunterschieden eine weitere Klassifikation von Pumpenlaufrädern vorgestellt. Dabei werden neun Typen von Laufradgeometrien unterschieden (**Bild 6.7**). Diese noch tiefere Klassifizierung macht deutlich, dass selbst bei der Einschränkung einer Ähnlichkeitsbetrachtung von Gussteilen auf das Produktsortiment der Laufräder immer noch eine Vielfalt an geometrischen Formen vorliegt.

Für die weiteren Untersuchungen wurde ein Laufrad vom Typ 5 ausgewählt. Es handelt sich dabei um ein radiales, einströmiges, geschlossenes Laufrad, welches zu den in der

ausgewählten Gießerei am häufigsten gefertigten Geometrietypen gehört. Der Anteil dieses Typs beträgt in der Referenzgießerei etwa 85% der Laufradproduktion.

➤ **Auswertung von Rohgussarbeitsplänen für Laufräder in einer Gießerei**

In der ausgewählten Gießerei wurde nach Absprache mit der Geschäftsleitung eine Selektion der bereits hergestellten Gussteile aus dem Teilestamm des PPS-Systems nach dem Suchkriterium „Laufräder“ vorgenommen. Die Treffer wurden dann erneut nach möglichst aktuellen Auftragsdaten (max. 2 Jahre in der Vergangenheit) selektiert. Da immer noch über 300 Treffer angezeigt wurden, erfolgte eine weitere Einschränkung bzgl. der Masse der Gussteile (2 – 50 kg). Durch eine Sichtprüfung der Modelle im Lager wurden bezüglich des im **Bild 6.7** dargestellten Laufrad-Typ5 70 Laufräder (Modellnummern) für die weiteren Untersuchungen ausgewählt.

Für eine aussagekräftige Analyse zum Zusammenhang von Geometrie und Technologie und weiterführend zum Zusammenhang von Werkstoff und Technologie wurden für diese Laufräder die vorhandenen Arbeitspläne (inkl. der Zeitkalkulationsdaten) ausgewertet. Außerdem wurden für eine Ähnlichkeitsbetrachtung die Teilezeichnungen erfasst und Modelleinrichtung, Kernkasten und vorhandene Gussteile durch Fotos dokumentiert.

In der Teilestammliste (siehe **Anlage 11**) des verwendeten PPS-Systems sind als Gussteilmerkmale: Modell-Nr., Werkstoff, Gewicht, Losgröße archiviert. Der „Rohteilarbeitsplan“ enthält: Anzahl der Kerne, Legierungsgruppe, Formherstellungsverfahren, Gießtemperatur, Abmessungen der Modellplatte und des Formkastens, Formsandvolumen, das programmintern errechnet wird sowie die Zeiten für die Formerei, die Kernmacherei, das Ausleeren und das Putzen. Außerdem können die Modellverwaltung: Herkunft, Lagerort, Anzahl der Modelle sowie Modellkosten, Gussstückpreis und Umsätze angezeigt werden.

In **Anlage 12** werden der allgemeine technologische Ablauf einer Gussteilfertigung und die im PPS-System zum Arbeitsplan der Rohteilfertigung erfassten Daten gegenübergestellt.

Zur weiteren Untersuchung im Hinblick auf eine Technologieähnlichkeit wurden aus den vorliegenden Daten und Dokumenten zunächst technologisch relevante Gussteilmerkmale herausgearbeitet. Hierbei wurde erkannt, dass für die Gießerei einerseits die Fertigteilgeometrie, der Werkstoff aber auch der Fertigungsgrad¹ des angefragten Gussteils einen wesentlichen Einfluss auf technologische Festlegungen haben kann. So werden teils Formelemente, z.B. die Nabenbohrung, bereits beim Gießen vorgeformt. Bei Laufrädern aus Bronzeguss fragen Kunden häufig vorgedrehte Gussteile an.

¹ Annäherung des Rohteils an das Fertigteil durch Gießprozess oder durch spanende Bearbeitung

Um eine Ähnlichkeitsbetrachtung der Laufräder vornehmen zu können, wurden zunächst möglichst viele, die Geometrie eines Laufrades bestimmende Merkmale erfasst.

Dazu zählen:

- Außendurchmesser, Spaltbreite, Wanddicken der Scheiben,
- Außendurchmesser und Höhe des Schleifring,
- Außen- und Innendurchmesser, sowie Höhe der Nabe,
- Anzahl, Krümmung und Wanddicken der Schaufel.
- Weiterhin sind Werkstoff und Masse des Laufrades charakteristische Größen zur Klassifizierung.

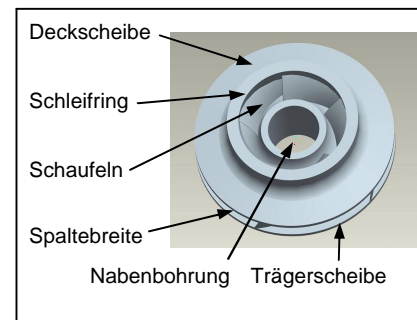


Bild 6.8 Aufbau eines Laufrades

Als technologisch relevant für den ausgewählten Laufradtyp wurden folgende Merkmale erkannt:

- der Werkstoff,
- die Abmessungen / Masse des Laufrades,
- eine vorgeformte Laufradnabenbohrung sowie
- die Art der Schaufelkrümmung.

Zur Veranschaulichung der Merkmale: „vorgeformte Nabenbohrung“ und „Art der Schaufelkrümmung“ dienen die **Bilder 6.9 - 6.11**.



(a) Draufsicht (b) Ansicht von unten
Bild 6.9 Laufrad ohne vorgeformte Nabenbohrung



(a) Draufsicht (b) Ansicht von unten
Bild 6.10 Laufrad mit vorgeformter Nabenbohrung

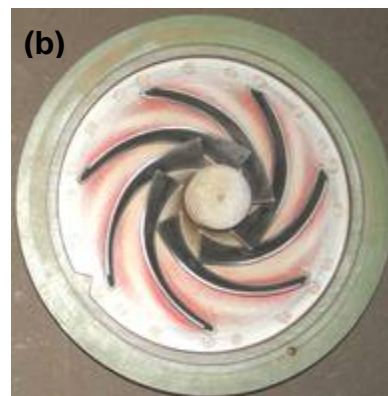
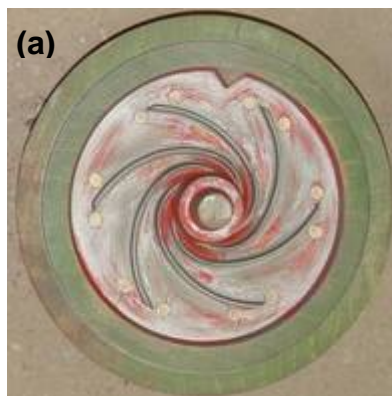


Bild 6.11 Einfach (a) und zweifach (b) verdrehte Schaufeln im Kernkasten

Entsprechend der erkannten Geometriemerkmale wurde eine Gruppenbildung für die zu untersuchenden Laufräder vorgenommen (**Bild 6.12**).

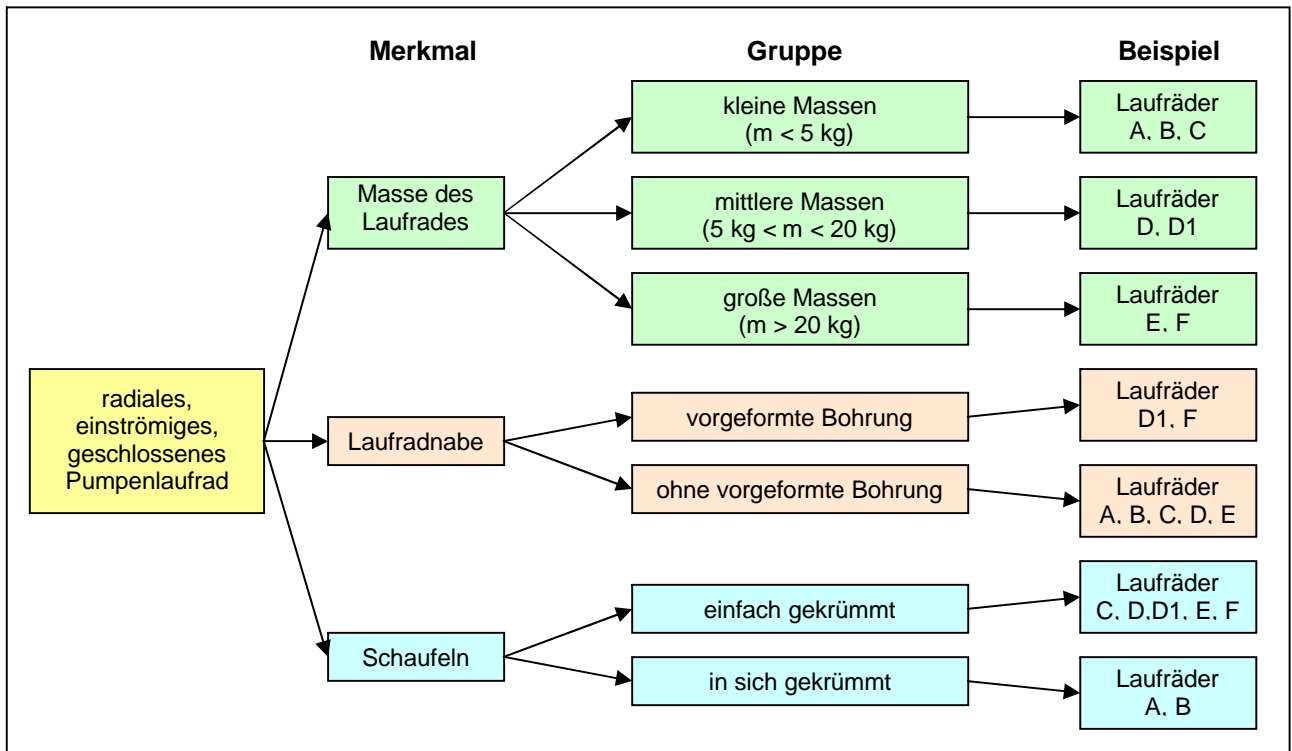


Bild 6.12 Gruppenbildung für untersuchte Laufräder nach Technologiemerkmale

Für die so ermittelten Laufradgruppen wurden aus den erfassten Teilen **Repräsentanten** ausgewählt, die sich in mindestens einem Merkmal unterscheiden, jedoch in den anderen übereinstimmen. Außerdem wurde darauf Wert gelegt, dass die ausgewählten Teile sowohl in Gusseisen und als auch in Bronzeguss gefertigt wurden, um das vierte Merkmal, den Werkstoff, in die Ähnlichkeitsbetrachtungen einbeziehen zu können.

Teile-Daten						Formkasten			Teilegeometrie						Zeitkalkulation				
Teil	Werkstoff	Stück-Gewicht (in kg)	Modeliplatten	Plattenbelegung	Anzahl der Kerne	Formsandvolumen (in l)	Kasten (B x L) (in mm)	UT/MT/OT (Höhe) (in mm)	Durchmesser (in mm)	Wanddicke der Scheiben (in mm)	Nabdurchmesser (in mm)	Spaltbreite (in mm)	Anzahl der Schaufel	Wanddicke der Schaufeln (in mm)	Krümmung der Schaufeln	Formerei / KA (in min)	Kernmacherei / Ke (in min)	Ausleeren (in min)	Putzen / Stück (in min)
A	EN-GJL-250	2,29	2	2	1	42	580x520	120x0x160	165	2,5 / 3,0	47,7	9,5	6	3,0	einfach	8	8	2	6
A	G-CuSn10	2,29	2	2	1	42	580x520	120x0x160	165	2,5 / 3,0	47,7	9,5	6	3,0	einfach	8	8	2	6
B	EN-GJL-250	2,40	2	2	1	42	580x520	120x0x160	170	2,5 / 3,0	40,0	8	7	3,0	einfach	8	5	2	4
B	G-CuSn10	2,70	2	2	1	42	580x520	120x0x160	170	2,5 / 3,0	40,0	8	7	3,0	einfach	8	5	2	8
C	EN-GJL-250	2,60	2	1	1	42	430x350	160x0x120	166	2,5 / 2,5	48,0	9	7	3,0	doppelt	8	7	2	5
C	G-CuSn10	2,80	2	1	1	42	430x350	160x0x120	166	2,5 / 2,5	48,0	9	7	3,0	doppelt	8	7	2	8
D	EN-GJL-250	8,60	2	1	1	47	430x350	160x0x160	280	3,5 / 3,5	65,0	18	7	4,0	doppelt	8	7	2	6
D	G-CuSn10	11,30	2	1	1	47	430x350	160x0x160	280	3,5 / 3,5	65,0	18	7	4,0	doppelt	8	7	2	10
D1 (mod.)	EN-GJL-250	9,00	2	1	2	41	430x350	120x0x160	250	3,5 / 4,5	64,7	18	7	4,0	doppelt	8	8	2	6
D1 (mod.)	G-CuSn10	12,00	2	1	2	41	430x350	120x0x160	250	3,5 / 4,5	64,7	18	7	4,0	doppelt	8	8	2	10
E	EN-GJL-250	45,00	Handform		1	114	600x600	200x0x200	419	6,5 / 6,5	229,0	21	7	6,0	doppelt	80	25	10	15
F	EN-GJL-250	48,00	Handform		2	138	600x600	200x0x300	514	6,5 / 6,5	249,0	31	7	6,0	doppelt	75	28	8	15

Tabelle 6.1 Datenübersicht für ausgewählte Untersuchungsteile

In **Tabelle 6.1** werden die Daten aus den Arbeitsplänen für die ausgewählten Teile dargestellt.

Die Teile A – D1 wurden sowohl in Gusseisen als auch in Bronzeguss untersucht. Bei diesen Teilen kam das Maschinenformen zur Anwendung, während die Teile E und F nur als Gusseisen vorlagen. Sie weisen jedoch als Repräsentanten der Handformerei deutliche Unterschiede zu den Maschinenformteilen in der Zeitkalkulation auf.

Das Teil A ist ein Beispiel eines offensichtlichen Fehlers in der Zeitkalkulation. Durch die vollständige Übereinstimmung der Zeiten (einschließlich des Stück-Gewichts) liegt die Vermutung nahe, dass es sich beim Bronzegussteil um eine Kopie der Arbeitplandaten des Gusseisenteils handelt. Außerdem weicht die Zeitkalkulation für die Kernarbeit deutlich von den anderen Teilen mit geringer Masse ab, wofür es keine Erklärung nach Prüfung der Zeichnung gibt. Das beweist die bereits in **6.1.2** getroffene Einschätzung zur Entstehung von Folgefehlern in der Bearbeitungspraxis von vermeintlichen Ähnlichteilen durch die einfache Übernahme der Daten aus dem Teilestamm des Ähnlichteiles.

Aus diesem Grund wurde zusätzlich das Teil B ausgewählt, weil es ein hohes Maß an geometrischer Ähnlichkeit zum Teil A aufweist. Hier werden jedoch Unterschiede in der Zeitkalkulation zwischen dem Gusseisen- und dem Bronzegussteil und auch zum Teil A deutlich.

Außerdem liegt für beide Teile aufgrund ihrer geringen Größe eine Zweifachbelegung der Modellplatten vor. Das wiederum hat Auswirkungen auf den Gießprozess.



Bild 6.13 Teil A:
Zweifachplattenbelegung mit Anschnittsystem



Bild 6.14 Teil B:
Zweifachplattenbelegung ohne Anschnittsystem

Während die Modellplatte für das Teil A über ein Anschnittsystem verfügt, also beide Laufräder in einem Vorgang gegossen werden, erfolgt das Gießen der Teile B über zwei getrennte Speisereingüsse (Laufradnabe). Die Teile werden also im Handguss einzeln gegossen. Derartige Unterschiede können verschiedene Ursachen haben. Das Gießen über einen Speisereinguss ist für kleinere Laufräder (keine großen Masseansammlungen) nach jüngeren Erfahrungen aus Gusseisen fast immer anwendbar. Also könnten vorhandene Anschnittsysteme an Modelleinrichtungen durch das Alter der Modelleinrichtung bedingt sein. Andererseits ist ein Gießen über die Nabe nur sinnvoll,

wenn der Kunde diese nicht schon vorgeformt wünscht bzw. der Durchmesser einen Speisereinguss zulässt.

Mit dem Teil C soll der Einfluss der Form der Schaufeln (in sich gekrümmt) auf die Kernarbeit verdeutlicht werden.

Die Teile D und D1 sind als Vertreter der mittleren Massen laut **Bild 6.12** ausgewählt worden. Außerdem stellt das Teil D1 nur eine Modifikation des Teiles D dar. Es werden die gleiche untere Modellplatte und der gleiche Kernkasten verwendet. Lediglich die obere Modellplatte wurde modifiziert. Ursache dafür ist eine vorgeformte Nabenbohrung. Diese Veränderung bedingt nicht nur einen höheren Zeitaufwand für die Kernherstellung (ein zweiter Kern ist erforderlich); es schließt auch das Gießen über einen Speisereinguss (in der Nabe) aus. Somit macht sich zusätzlich hier ein Ringlauf-Anschnittsystem (**Bild 6.15**) erforderlich.



Bild 6.15 a) Modell zu Teil D, b) Modell zu Teil D1 (modifiziert), c) gleicher Kernkasten für beide Teile

Die Teile E und F wurden als Vertreter größerer Massen (beide > 40 kg) ausgewählt. Die Modelle sind nicht auf Modellplatten montiert. Damit sind sie zugleich Vertreter der Handformerei.

Beim Vergleich der Zeitkalkulationen wird deutlich, dass eine höhere Fertigungszeit für das Putzen beim Bronzeguss gegenüber dem Gusseisen kalkuliert wird. Diese resultieren aus den unterschiedlichen Bearbeitungsverfahren. Während beispielsweise das Trennen des Anschnitt- und Speisersystems vom Rohteil für Gusseisen auf Grund der spröden Materialeigenschaften mit einem Hammerschlag möglich ist, müssen beim Bronzegussteil alle Arbeiten durch Trennschleifen vorgenommen werden. Auch das Entgraten der Bronzegussteile erfolgt mittels Schleifen.

Bei einem weiteren Vergleich in Bezug auf die Auswirkungen von unterschiedlichen Modellplattenbelegungen wird in der Zeitkalkulation kein wesentlicher Unterschied ersichtlich. Der Vorteil bei der Formherstellung wird durch einen höheren Aufwand beim Formzusammenbau ausgeglichen. Die Kalkulation erfolgt in der Referenzgießerei ohnehin je Gussteil und demnach unabhängig von der Plattenbelegung. Die Richtigkeit dieser Vorgehensweise ist sicherlich überprüfenswert.

6.1.4 Verwendung gleicher Modelleinrichtungen für unterschiedliche Werkstoffe

Bei allen aufgeführten Teilen wurden trotz unterschiedlicher Werkstoffe (hier für Gusseisen- und Bronzeguss) die gleichen Modelleinrichtungen verwendet.

Auf Grund des unterschiedlichen Werkstoffverhaltens ist es aus der Erfahrung der Gießer möglich, Gusseisen in für den Bronzeguss vorgesehene Formen zu gießen. Eine Umkehrung jedoch ist nicht möglich. Andere Werkstoffeigenschaften erfordern beispielsweise unterschiedliche Radien und Aushebeschrägen. Ebenso sind die höheren Schwindmaße, für die Kupferwerkstoffe zu berücksichtigen. Während für den Eisenguss von Laufrädern fast immer ein Gießen über einen Speisereinguss (Gießen über die Nabe des Laufrades) möglich ist, ist dies für den Bronzeguss nicht in jedem Fall möglich, sodass verschiedene Anschnittsysteme zum Einsatz kommen. Außerdem bestehen auch bezüglich der Anzahl und Anordnung der Speiser besonders bei größeren Laufrädern auf Grund der unterschiedlichen Schwindmaße (flüssige und Erstarrungsschwindung) z.T. erhebliche Unterschiede zwischen Gusseisen und Bronzeguss.

Die Verwendung gleicher Modelleinrichtungen für unterschiedliche Werkstoffe ist demzufolge rückläufig. Bei Aufträgen für Gussteile mit vorhandener Modelleinrichtung in geringen Stückzahlen behält man diese Kompromisslösung bei. Bei Neuteilen und größeren Serien bekannter Teile geht man schrittweise, auch auf Grund der erhöhten Qualitätsansprüche der Kunden, zur Verwendung unterschiedlicher Modelle für unterschiedliche Werkstoffe sonst identischer Teile über. Das wiederum hat preisliche Konsequenzen. Denn oftmals wurde die alte Verfahrensweise vom Kunden explizit gewünscht, um die Kosten für eine separate Modelleinrichtung für unterschiedliche Werkstoffe einzusparen. Der höhere Aufwand, der dann bei Gusseisenteilen bei der mechanischen Bearbeitung entsteht, wird in Kauf genommen. Erst bei großen Stückzahlen wirkt sich dieser als erkennbarer Kostenfaktor aus.

Weitere Unterschiede im Vergleich von Eisen- und Kupferwerkstoffen sind die Verwendung verschiedener Formstoffe (besonders zur Herstellung von Kernen) und der Einsatz unterschiedlicher Schichten. Dies ist durch die verschiedenen Gießtemperaturen bedingt. Diese Unterschiede kommen in der Angebotserarbeitung jedoch nicht zum Tragen, da diese in der Referenzgießerei in den Gemeinkosten (betriebsspezifisch) pauschal erfasst werden. Auch weitere Differenzierungen bei der Behandlung der Form bzw. der Kerne im Zusammenhang mit dem Formverfahren (Maschinen- oder Handformerei) werden in der Referenzgießerei in der Kalkulation nicht explizit berücksichtigt.

Diese Vorgehensweise ist ebenfalls überprüfenswert.

6.2 Ähnlichteilsuche im Zuge der Angebotserarbeitung

Ähnlichteile in der Konstruktion, in der Arbeitsvorbereitung und auch in der Fertigung wie Neuteile zu betrachten, ist kostentreibend und dauerhaft wirtschaftlich nicht vertretbar.

Aus der Serienfertigung ist bekannt, wie Wiederholeffekte wirtschaftlich genutzt werden können. Aus diesem Grund sollten alle denkbaren Wiederholeffekte auch auf Ähnlichkeiten angewendet werden. Allerdings ist durch die Teilevielfalt und die damit verbundenen Datenmengen eine manuelle Verwaltung kaum noch möglich.

Im Abschnitt „Stand der Technik“ wurden zahlreiche Klassifikationsmethoden und Hilfsmittel für Ähnlichkeitsbetrachtungen gegenübergestellt. Die Nutzung dieses Wissens und die Erkenntnisse aus der Analyse zur Arbeitsplanung in der Referenzgießerei sollen die Grundlage für eine Ähnlichteilsuche aus technologischer Sicht bilden.

6.2.1 Klassifikationen und Ähnlichteilbetrachtungen bei Pumpenlaufrädern

Um den Ähnlichkeitsbegriff für Pumpenlaufräder anwenden zu können, ist es erforderlich, über die bekannten Klassifikationssysteme von Rosenberger, Czikel und Pacyna hinauszugehen.

Gruppe Kernarbeit ↓ Haupt- gruppe ↓ Formarbeit	Gußstücke ohne Kern	sehr einfache Kerne	mehrere sehr einfache Kerne	einfache Kerne	sehr einfache u. mehr einfache Kerne	schwierige Kerne
	1	2	3	4	5	6
sehr einfache z.B. Konturenarm, Erhebungen und Vertiefungen bei G0 u. GT bis 5mm bei G5 bis 15mm		1 Kern	17 Kerne	2 Kerne	6 Kerne	1 Kern
einfache z.B. einfache Kernabstützung, Erhöh. u. Vertiefung über 5 bzw 15mm bis 4 Ansteckteile		1 Kern	4 Kerne	3 Kerne	8 Kerne	1 Kern

Bild 6.16 Auszug aus dem Klassifikationsschema nach Rosenberger [60]

Die Einordnung der im **Abschnitt 6.1.3** untersuchten Laufräder in das Klassifikationsschema nach Rosenberger (vgl. **Bild 6.16**) ist subjektiv und würde durch die bildliche Darstellung eine Zuordnung in die Gruppe 2-2 bzw. Gruppe 1-5 (gelb hervorgehoben) vermuten lassen. Bezogen auf die Schwierigkeitsgrade der Form- und Kernarbeit würde für die Referenzteile A und B (einfach gekrümmte Schaufeln) eine subjektive Zuordnung in Gruppe 1-4 (sehr einfache Formarbeit mit einfachen Kernen) bzw.

in Gruppe 2-4 (einfache Formarbeit mit einfachen Kernen) möglich sein (grün hervorgehoben). Ebenso würden die anderen Referenzteile C – F den Gruppen 1-6 bzw. 2-6 aufgrund der in sich gekrümmten Schaufeln zuzuordnen sein (blau hervorgehoben), obwohl diese durch teils unterschiedliche Formherstellungsmethoden technologisch stark differieren. Dieser Vergleich macht zum einen die Subjektivität dieser Klassifikationsmethode deutlich und zeigt zum anderen die Lücken für eine Ähnlichkeitsuche auf.

Wendet man die Klassifikation nach Czikel auf die untersuchten Laufräder an, so ergeben sich aufgrund des hohen Maßes an Geometrieähnlichkeit aller radialer, einströmiger und geschlossener Laufräder erwartungsgemäß in beiden zu ermittelnden absoluten Größen *Proportionierung* und *Dimensionierung* nur geringe Unterschiede. Für die Teile B, D und F (Repräsentanten kleiner, mittlerer und größerer Masse) wurden folgende Werte (Berechnung siehe **Anlage 13**) ermittelt:

Teile	Masse	Proportionierung	Dimensionierung
B	2,4 kg	3,5	0,5
D	8,6 kg	4,1	0,9
F	48,0 kg	4,4	1,0

Tabelle 6.2 Ordnungsmerkmale für Referenzteile nach Czikel

Czikel verweist in [59] selbst darauf, dass weitere Merkmale für eine vollständige Beschreibung eines Gussteils einbezogen werden müssen, diese sich jedoch in einer derartigen „absoluten Klassifikation“ mathematisch nicht fassen lassen und damit nicht zur Klassifikation herangezogen werden.

Die Klassifikationsmethode nach Pacyna ist deutlich differenzierter. Aus der Berechnung der Ordnungsmerkmale *Gestrecktheit*, *Dünnwandigkeit* und *Verpackungsperrigkeit* ergibt sich durch die gerundeten Logarithmen der Kennzahlen eine dreigliedrige Klassifikation (je nach Differenzierungsbedarf zwei- oder dreistellig). In **Tabelle 6.3** werden die Berechnungsergebnisse der Kennzahlen und die sich daraus ergebende zweistellige Klassifikation dargestellt (Berechnung siehe **Anlage 13**).

Teile	Masse	Gestrecktheit	Dünnwandigkeit	Verpackungsperrigkeit	Klassifikation
B	2,4 kg	2,1	11,1	5,2	03 10 07
D	8,6 kg	2,2	14,2	4,2	04 12 06
F	48,0 kg	2,3	15,1	5,5	04 12 07

Tabelle 6.3 Ordnungsmerkmale und Klassifikation für Referenzteile nach Pacyna

Der Grad der Ähnlichkeit wäre nach dieser Klassifikation für die Teile D und F (sie stimmen in zwei Merkmalen/Gruppen überein) am größten. Diese beiden Teile unterscheiden sich jedoch technologisch deutlich voneinander. Hingegen würden die technologisch ähnlichen Teile B und D in keiner Ähnlichkeitsliste gemeinsam aufgeführt, da

sie in keinem Merkmal übereinstimmen.

Die kritische Darstellung der Anwendung der bestehenden Klassifikationsmethoden auf die Untersuchungsteile lässt deutlich werden, dass die Klassifikationen der Einordnung von Gussteilen zwar bezüglich ihrer Geometrie dienen, diese jedoch nicht für die Kennzeichnung einer technologischen Ähnlichkeit anwendbar sind. Hierfür sind weitere Merkmale heranzuziehen.

6.2.2 Spezielle Kriterien für Ähnlichteilbetrachtungen bei Pumpenlaufrädern

Wie bereits im **Abschnitt 6.1.3** ausgeführt, sind als fertigungstechnisch relevante Einflussgrößen: der *Werkstoff*, die *Abmessungen/Masse* des Laufrades, eine *vorgeformte Laufradnabenbohrung*, sowie die *Art der Schaufelkrümmung* und zu berücksichtigen. In Auswertung der Untersuchungen in der Referenzgießerei ergeben sich folgende Abhängigkeiten zwischen den Gussteilmerkmalen und dem Fertigungsprozess beim untersuchten Laufradtyp (**Bild 6.17**):

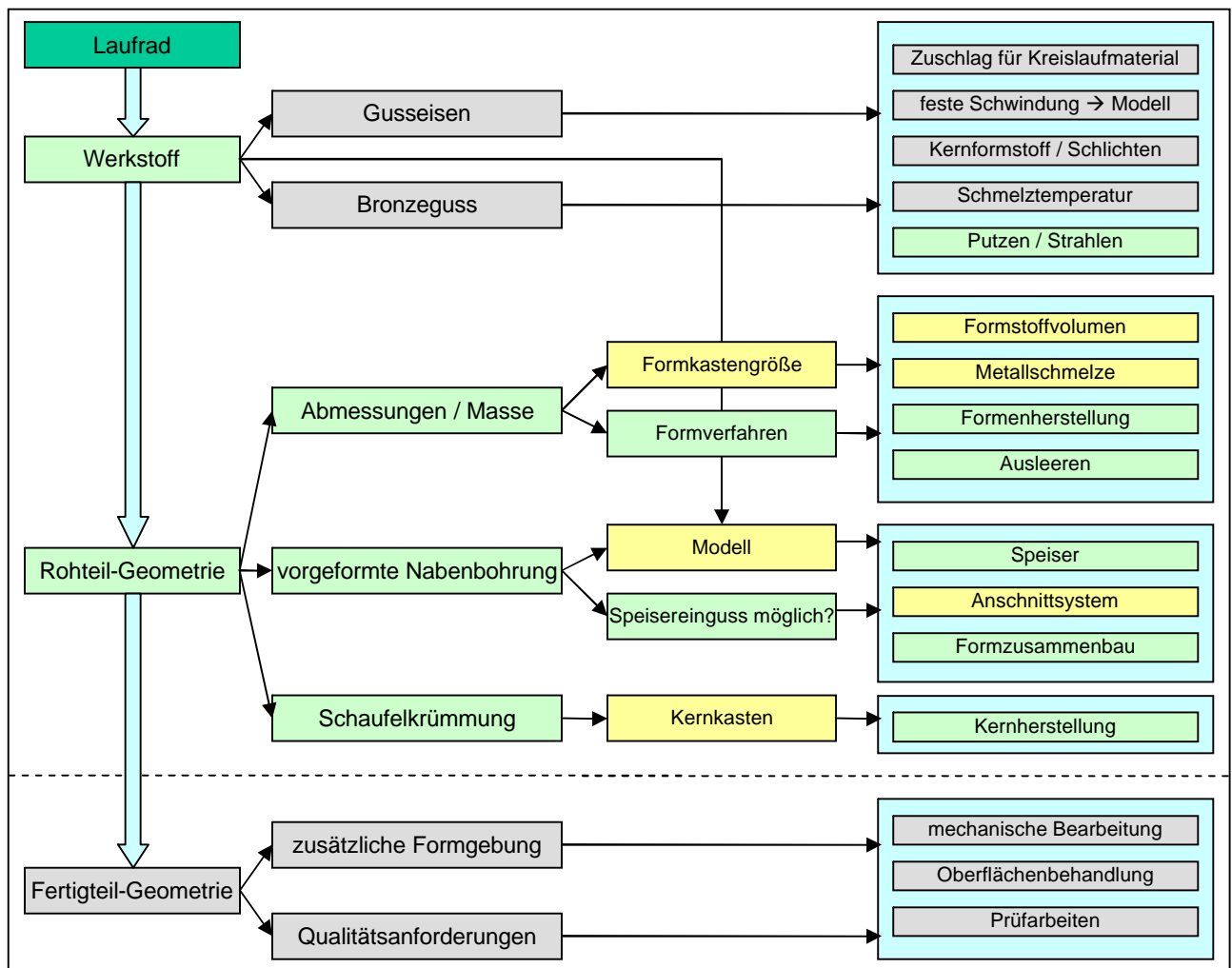


Bild 6.17 Einflussgrößen bei den untersuchten Laufrädern auf Arbeitsplanung und Kalkulation

- Legende:
- wesentlich für technologische Ähnlichkeit
 - wesentlich für die Arbeitsplanung, aber Standardbestandteil von PPS-Systemen
 - Beispiele bzw. nicht für die Ähnlichteilssuche / den Gießprozess relevant

Zunächst sei angemerkt, dass für die hier dargestellte Ähnlichteilbetrachtung die das Rohteil bestimmenden Arbeitsschritte berücksichtigt werden. Die Generierung des Rohteils aus den Fertigteildaten ist zwar für die Modellkalkulation von Bedeutung, hat jedoch kaum Einfluss auf die Kalkulation der Gussteilherstellung (erforderliche / resultierende Mengenangaben bzw. -berechnungen werden im PPS-System behandelt). Alle erforderlichen Arbeitsschritte vom Rohteil zum Fertigteil bleiben in der weiteren Betrachtung ebenfalls unberücksichtigt, da sie bei der Angebotserarbeitung weitestgehend losgelöst vom eigentlichen Gießprozess bearbeitet werden können.

Es wird deutlich, dass einige Merkmale (im **Bild 6.17** grün gekennzeichnet) einen unmittelbaren Einfluss auf die Zeitkalkulation haben, jedoch noch nicht im vorhandenen PPS-Systemen explizit erfasst werden. Für eine erfolgreiche Ähnlichteilsuche aus technologischer Sicht ist es erforderlich, diese einzubeziehen. Alle für den Gießvorgang und die Behandlung des Rohgussteils relevanten Größen werden hingegen in den PPS-Systemen ausreichend berücksichtigt, sind aber für eine derartige Ähnlichteilbetrachtung nicht in jedem Fall von Interesse.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass auf den Datenbestand des PPS-Systems zurückgegriffen werden kann, jedoch teilespezifisch für die Herstellung der Form, der Kerne sowie das Ausleeren und Putzen zusätzliche Merkmale in die Ähnlichteilsuche einzubeziehen sind.

6.2.3 Assistenzsystem zur Ähnlichteilsuche in der Angebotserarbeitung

Betrachtet man den Angebotsprozess nach Eingang einer Anfrage eines neuen Teiles, so wird entsprechend der Befragung mehrerer Gießereien unabhängig von bisherigen Kundenbeziehungen stets eine Arbeitsplanung vorgenommen, die zu einem verbindlichen Angebot führt und bei Auftragserteilung nur noch durch Konkretisierungen, z.B. Anpassungen der Modelleinrichtung / des Anschnitt- und Speisersystems als Fertigungsplan übernommen werden kann.

Ähnlichteilbetrachtungen werden theoretisch bei fast jeder Anfrage vorgenommen. Es wird bei der Durchsicht der Anfragunterlagen automatisch gedanklich nach vergleichbaren Teilen aus dem Teilespektrum der Gießerei gesucht. Durch ein softwarebasiertes Assistenzsystem soll dieser Prozess beschleunigt, systematisiert und objektiviert werden. Zur Optimierung des Angebotserarbeitungsprozesses ist es allerdings erforderlich, Kriterien für die Entscheidung zu definieren, ein angefragtes Teil als Ähnlichteil oder als Neuteil zu behandeln. PPS-Systeme stellen eine bewährte Grundlage für die Angebotserarbeitung dar. Um jedoch über die Neuteilkalkulation und einfache Selektionen

zur Ähnlicheitsuche hinaus zu kommen, sind die Integration von weiterführenden Teilmerkmalen und eine darauf ausgerichtete Ähnlicheitsuche erforderlich.

An die zu verwendende Software ist ein hoher Anspruch geknüpft. Wenn Arbeitsvorbereiter, und besonders in Gießereien, bislang fast ausschließlich auf ihre Erfahrung, ein gutes Erinnerungsvermögen und ein mehr oder minder gutes Archivsystem angewiesen waren, sollte die Software diese Eigenschaften nicht nur ersetzen, sondern vielmehr rationalisieren und firmen- und bedienerunabhängig einsetzbar sein. D.h. jedoch zum einen, dass allgemeingültige, vom Unternehmen und vom Mitarbeiter unabhängige Erfahrungen einfließen, zum anderen aber auch gerade die speziellen und das Unternehmen kennzeichnenden Parameter in den Datenbestand eingepflegt werden.

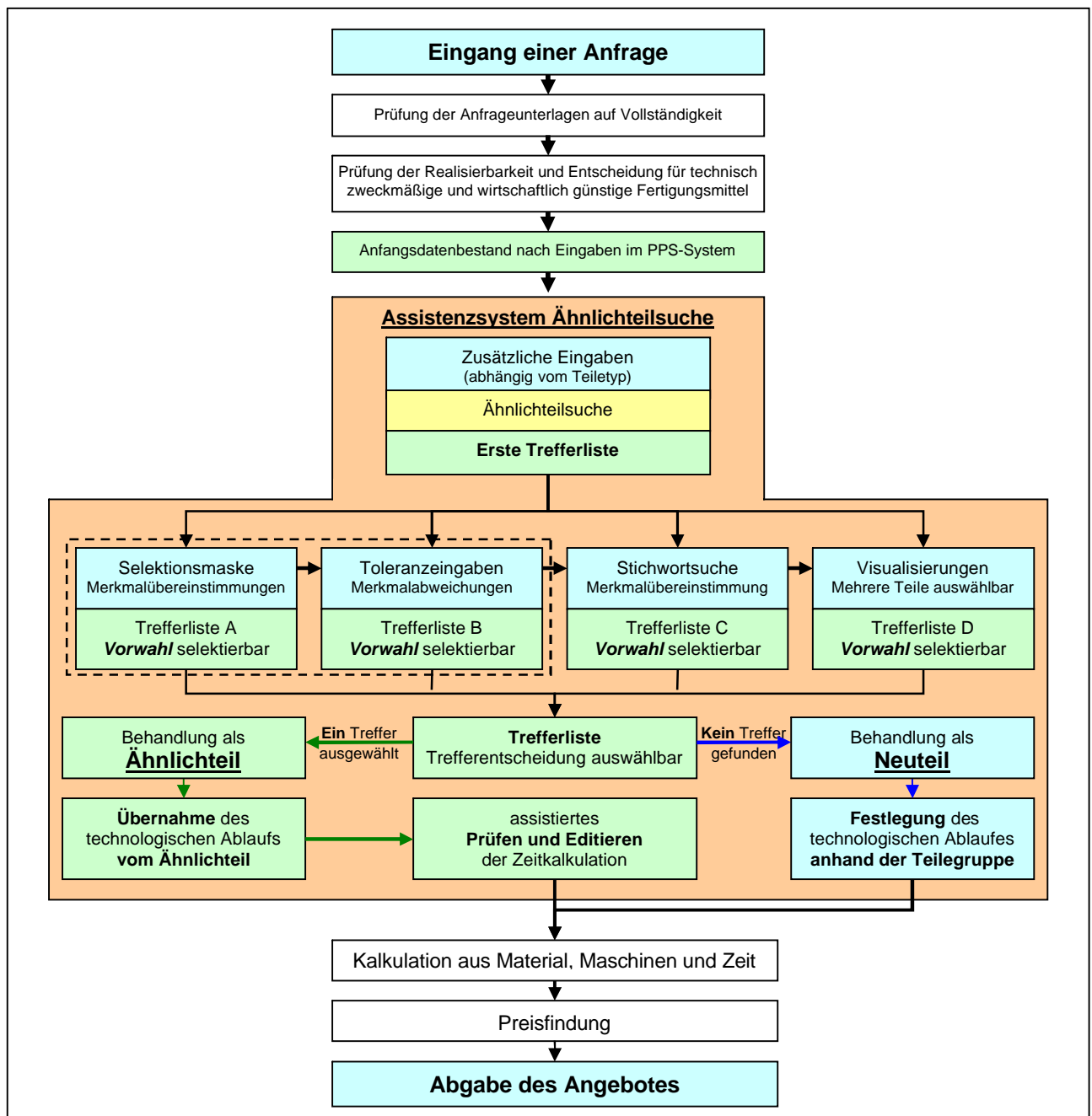


Bild 6.18 Assistenzsystem zur Ähnlicheitsuche im Zuge der Angebotserarbeitung

Die grundsätzliche Einordnung einer solchen effizienten Ähnlichteilsuche in den Prozess der Angebotserarbeitung wird im **Bild 6.18** dargestellt.

Die Entwicklung eines Assistenzsystems für die Entscheidung, die Kalkulation als Neuteil oder auf der Basis eines Ähnlichteils vorzunehmen, stellt einen neuen Ansatz für eine rationelle Angebotserarbeitung dar. Damit sollen das Anliegen und der Wert der vorgelegten Arbeit für eine rationelle Angebotserarbeitung verdeutlicht werden. Der eigentliche Wert liegt jedoch in der Tiefe der Ähnlichteilsuche. Während bisher die Suche in PPS-Systemen sich ausschließlich auf Selektionen anhand von Einzelmerkmalen und das Erinnerungsvermögen des Planers stützte, kann hier eine Ähnlichteilsuche in Teilegruppen nach speziellen Parameterübereinstimmungen und -toleranzen erfolgen. Zusätzlich ist die Trefferliste durch weitere Kriterien und zusätzliche Hilfsmittel, wie eine Stichwortsuche oder einen Bildbetrachter einschränk- oder erweiterbar.

Wenngleich Untersuchungen an Laufrädern die Grundlage für die hier angestellten Überlegungen bildete, so kann die im **Bild 6.18** dargestellte Methodik der Ähnlichteilsuche verallgemeinert auf jegliche Suche nach ähnlichen Gussteilen angewendet werden.

Zum besseren Verständnis des dargestellten Verlaufes von einer eingehenden Anfrage bis zur Abgabe eines Angebots unter Einbeziehung einer gezielten Ähnlichteilsuche soll der Prozess an einem Beispiel erläutert werden.

Als Beispiel wird ein Laufrad mit folgenden Parametern gewählt:

Das Laufrad (**Bild 6.19**) gehört zur untersuchten Laufradgruppe (Typ 5 im **Bild 6.7**). D.h. es handelt sich um ein **radiales, geschlossenes Laufrad**. Die Anfrageunterlagen enthalten folgende Informationen: Masse: **2,8 kg**, Werkstoff: **Gusseisen (GJL-250)**, angefragte Stückzahl: **10 Stück**, es wird **keine vorgeformte Nabenbohrung** gefordert. Aus der Zeichnung sind zusätzlich folgende, für die Zeitkalkulation wesentlichen Merkmale bekannt: Scheibendurchmesser: **191 mm**, Gesamthöhe: **42 mm**, Spaltbreite: **8 mm**, **in sich gekrümmte Schaufeln**.

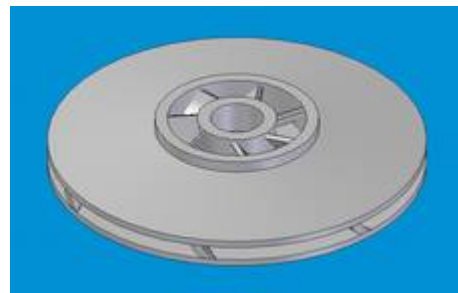


Bild 6.19

3D-Darstellung des Beispiellaufrades

Damit wurde der erste Schritt zur Bearbeitung der Anfrage – Prüfung der Unterlagen auf Vollständigkeit – bereits bearbeitet. Die in [27] dargestellten Fragen lassen sich für eine Ähnlichteilsuche auf folgende reduzieren:

- Eindeutige Angaben zum Gusswerkstoff vorhanden?
- Vollständige Angaben zur geometrischen Gestalt/Abmessungen vorhanden (Zeichnung vorhanden)?
- Angaben zum Gewicht vorhanden?

Fehlende notwendige Angaben würden beim Kunden nachgefragt werden.

Im zweiten Schritt erfolgt die Prüfung auf Realisierbarkeit und Entscheidung für technisch zweckmäßige und wirtschaftlich günstige Fertigungsmittel. In dieser Phase erfolgt ein Abgleich der für die Fertigung erforderlichen mit der vorhandenen Ausrüstung, sowie dem Auftragsvolumen und den betrieblichen Kapazitäten. Inbegriffen in diese Betrachtung sind beispielsweise maximale Größe oder Masse des Gussteils, der Werkstoff oder Nachbehandlungs- oder Qualitätsforderungen, die ein bestimmtes Gießverfahren voraussetzen oder nur über Subauftragnehmer realisierbar sind. In wenigen Fällen, je nach zu erwartendem Auftragsvolumen, könnten auch Entscheidungen zu erforderlichen Investitionen zur Realisierung eines zukünftigen Auftrages anstehen.

Für das Beispielteil sind alle Bedingungen für eine mögliche Fertigung gegeben.

Ist die Realisierbarkeit festgestellt, kann die eigentliche Angebotserarbeitung erfolgen, die in der Praxis am häufigsten als Neukalkulation durchgeführt wird. Die Betriebsmittel und auch der Werkstoffeinsatz werden im PPS-System nach Festlegung von Anschnitt- und Speisersystem ermittelt.

Im nächsten Schritt soll die Zeitkalkulation für das Formen, die Kernmacherei, das Ausleeren und das Putzen durch den Einsatz des Assistenzsystems unterstützt und vereinfacht werden. Durch eine Ähnlichteilsuche besteht die Möglichkeit, die ermittelten Kalkulationsansätze zusätzlich auf der Basis von Erfahrungswissen (Zeitkalkulation des Ähnlichteils bzw. Mittelwerte mehrerer Ähnlichteile) einer kritischen Prüfung zu unterziehen und damit zu objektivieren.

Nach der Übernahme der teilebezogenen Standarddaten aus dem PPS-System erfolgen auf der Basis der Teilebezeichnung zunächst spezifische Zusatzeingaben zur Teilegeometrie bzw. zur Fertigungstechnologie. Diese werden in einem Nutzerdialog abgefragt. Dieser Schritt trägt bereits assistierenden Charakter.

Alle zusätzlichen Eingaben können für die Ähnlichteilsuche aus technologischer Sicht herangezogen werden.

Für die Teilebezeichnung „Laufrad“ sind dies:

(für das Beispielteil)

- Welcher Laufradtyp liegt vor? → *radiales Laufrad*
- Welcher Bauart liegt vor? → *geschlossenes Laufrad*
- Welche Art der Krümmung der Schaufeln liegt vor? → *in sich gekrümmt*
- Ist eine vorgeformte Nabenbohrung vorgesehen? → *ist nicht vorgesehen*
- Eingaben von Durchmesser, Höhe, Spaltbreite → *191, 42, 8*

Im **Bild 6.20** wird der Eingabedialog für die zusätzlichen Merkmale dargestellt.

Assistenzsystem
Datei Anfrage Ähnlichkeitsuche Ergebnisse About

Teile-Daten für Neuanfrage

69 Teile in der Datenbank:

Teilbezeichnung: Laufrad Modell-Nr.: Beispielteil

Werkstoff: GJL-250 Stückgewicht: 2,8 kg

Zusatzeingaben: Stückzahl: 10 Durchmesser: mm Höhe: mm Spaltbreite: mm

Formerei: Formverfahren: Modelle/Platte: Kastengröße: Höhen: UT x MT x OT

Kernarbeit: Kernarbeit: Anz. Kerne: Kernschwierigkeit:

Laufrad-Typ: radial diagonal axial

Bauart: geschlossen halboffen offen

Schaufelkrümmung: einfach gekrümmt in sich gekrümmt

vorgeformte Nabenbohrung: nicht vorgesehen vorgesehen

Berechnung - Zeitkalkulation Suchoptionen Ähnlichkeitsuche

Bild 6.20 Übernahme der Basisdaten aus dem PPS-System in das Assistenzsystem

Die im PPS-System noch nicht erfassten Daten werden in der Eingabemaske des Assistenzsystems ergänzt.

Aus den jetzt vorhandenen Daten können resultierende Folgegrößen, wie Kastengröße, Formverfahren und Plattenbelegung teils automatisch (programmintern) als Vorschläge generiert und nur noch durch den Bediener bestätigt oder editiert werden. Ebenso wird aus dem gewählten Kernformverfahren und der Entscheidung zur vorgeformten Nabenbohrung die Kernschwierigkeit ermittelt, die ebenfalls editierbar ist (**Bild 6.21**).

Assistenzsystem
Datei Anfrage Ähnlichkeitsuche Ergebnisse About

Teile-Daten für Neuanfrage

69 Teile in der Datenbank:

Teilbezeichnung: Laufrad Modell-Nr.: Beispielteil

Werkstoff: GJL-250 Stückgewicht: 2,8 kg

Zusatzeingaben: Stückzahl: 10 Durchmesser: 191 mm Höhe: 41 mm Spaltbreite: 8 mm

Formerei: Formverfahren: Maschine Modelle/Platte: 1 Kastengröße: 430 x 350 Höhen: 160 x 0 x 100

Kernarbeit: Kernarbeit: KCBS Anz. Kerne: 1 Kernschwierigkeit: 1

Laufrad-Typ: radial diagonal axial

Bauart: geschlossen halboffen offen

Schaufelkrümmung: einfach gekrümmt in sich gekrümmt

vorgeformte Nabenbohrung: nicht vorgesehen vorgesehen

Berechnung - Zeitkalkulation Suchoptionen Ähnlichkeitsuche

Bild 6.21 Generierung von Formverfahren, Plattenbelegung und Kastengrößen durch das Assistenzsystem

Ist die angefragte Stückzahl sehr klein (z.B. < 10 Stück) oder passt ein Laufrad aufgrund seines Durchmessers nicht in die vorhandenen Maschinenformkästen, kommt das Handformverfahren, ansonsten das Maschinenformverfahren zum Einsatz. Die Kastengröße und die Höhen der Kastenteile (UT-Unterteil, MT-Mittelteil, OT-Oberteil) werden aus einer Datenbank automatisch in Abhängigkeit der Eingaben von Durchmesser und Höhe des Laufrades generiert. Hierbei kommen Erfahrungswerte für die erforderlichen Mindestabstände des Modells zum Kastenrand von durchschnittlich 20 mm zum Ansatz. Ebenso wird die Plattenbelegung (Modelle/Platte) in Abhängigkeit von Durchmesser, Kastengröße und Stückzahl vom Assistenzsystem vorgeschlagen.

Für das Beispielteil wird aufgrund der Stückzahl und des Durchmessers das Maschinenformverfahren unter Berücksichtigung einer dafür vorhandenen Modellplatte durch das Assistenzsystem vorgeschlagen. Die für das Beispielteil auf diese Weise ermittelten Werte sind in **Bild 6.21** dargestellt. Der Nutzer hat nun die Möglichkeit die vorgeschlagenen Werte zu verwenden oder diese zu editieren. Dies ist beispielsweise erforderlich, wenn das Modell bereits auf einer Modellplatte geliefert wird.

Aus den somit vollständig eingegebenen Daten kann eine Zeitkalkulation für die Formerei, die Kernmacherei, das Ausleeren und das Putzen aufgerufen werden. Das verwendete mathematische Modell wird im **Abschnitt 6.3** erklärt.

Im **Bild 6.22** wird das Ergebnis dieser Berechnung für das Beispielteil dargestellt.

The screenshot shows the 'Assistenzsystem' interface with the following data:

69 Teile in der Datenbank	
Teilbezeichnung: Laufrad	Modell-Nr.: Beispielteil
Werkstoff: GJL-250	Stückgewicht: 2,8 kg
Zusatzeingaben: Stückzahl: 10	Durchmesser: 191 mm
	Höhe: 41 mm
	Spaltbreite: 8 mm
Formverfahren: Maschine	Modelle/Platte: 1
	Kastengröße: 430 x 350
	Höhen UT MT OT: 160 x 0 x 100
Kernarbeit: KCBS	Anz. Kerne: 1
	Kernschwierigkeit: 1

Zeitkalkulation				
Formerei	Kernmacherei	Ausleeren	Putzen	Bitte kontrollieren Sie die Angaben durch einen Ähnlicheilsvergleich!
8	7	2	5	

Buttons: Berechnung - Zeitkalkulation, Suchoptionen, Ähnlicheilsuche

Bild 6.22 Zeitkalkulation aus Eingabegrößen

Um die so ermittelten Fertigungszeiten einer kritischen Prüfung zu unterziehen, kann mit diesem Datenbestand eine erste Ähnlicheilsuche erfolgen, bei der die Teiledatenbank

nach allen erfassten Werten als Übereinstimmungsparameter (sie müssen mit denen des angefragten Laufrades übereinstimmen) durchsucht wird.

Eine derartige Suche nach Ähnlichteilen führte für das Beispielteil in der Referenzgießerei zu einer leeren Trefferliste¹.

Das bedeutet jedoch nicht, dass kein Ähnlichteil vorhanden ist.

Aus diesem Grund besteht über den Button „Suchoptionen“ (siehe **Bild 6.22**) die Möglichkeit, die Kriterien der Ähnlichteilsuche zu bestimmen. So kann man in der Beispielsuche zu Treffern gelangen oder auch im anderen Fall eine zu umfangreiche Trefferliste einschränken. Nach **Bild 6.18** sind hierfür vier Strategien anwendbar:

1. Suche unter Verwendung von Übereinstimmungsparametern (Ein- und Ausschluss von Suchkriterien).
2. Suche unter Verwendung von Parametertoleranzen (zulässige Abweichungen für numerische Werte; z.B. Gewicht, Abmessungen, Stückzahl)
3. Stichwortsuche mit oder ohne Berücksichtigung von Parameterübereinstimmungen oder -toleranzen als Textsuche (z.B. in Bemerkungen/ Notizen zum Gussteil) .
4. Unterstützung der Auswahl durch bildliche Darstellung in Form von Fotos oder CAD-Daten zur subjektiven Selektion.

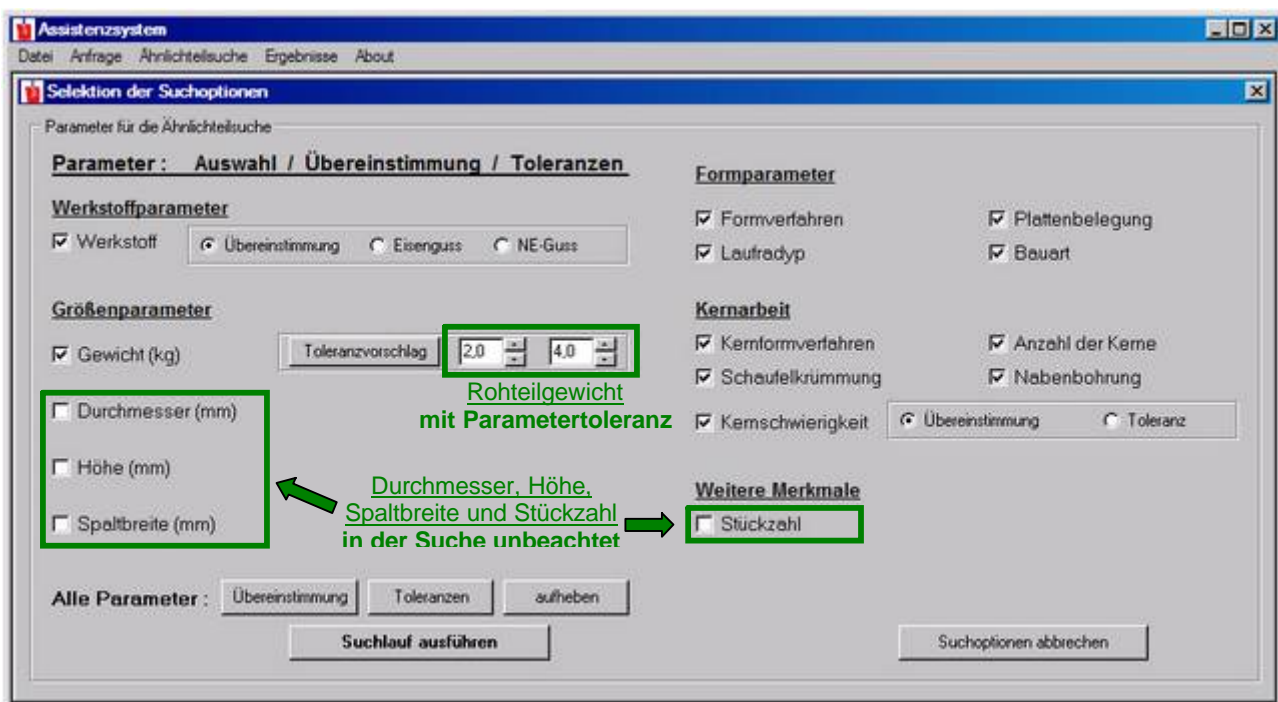


Bild 6.23 Suchoptionen (Parameterübereinstimmungen und -toleranzen) für eine Ähnlichteilsuche

Es ist hierbei möglich, diese Schritte menügesteuert („Ähnlichteilsuche“) einzeln aufzurufen oder diese in chronologischer Folge abzuarbeiten und damit die Trefferliste zu verfeinern.

¹ Anmerkung: Als Trefferliste wird die Anzeige aller durch Selektionen gefundener Ähnlichteile bezeichnet.

Für das Beispielteil führt die Eingabe einer Abweichung bei der Masseangabe (z.B. $2,0 < m < 4,0$) unter Ausschluss der Kriterien: Durchmesser, Höhe, Spaltbreite und Stückzahl zu 5 Treffern. Im **Bild 6.23** werden die Einstellungen der Parameterübereinstimmungen und -toleranzen für dieses Beispiel dargestellt. Toleranzen können manuell eingegeben oder vom Programm (z.B. 20% zum Neuteil-Wert) vorgeschlagen werden.

Die Treffer werden tabellarisch angezeigt (**Bild 6.24**) und den Neuteil-Daten gegenübergestellt. Auf diese Weise kann der Planer sich schnell einen Überblick im direkten Merkmalsvergleich verschaffen und die Liste der Ähnlichteile bearbeiten, indem Teile aus der Trefferliste gelöscht bzw. ein Teil als Ähnlichteil ausgewählt werden kann.

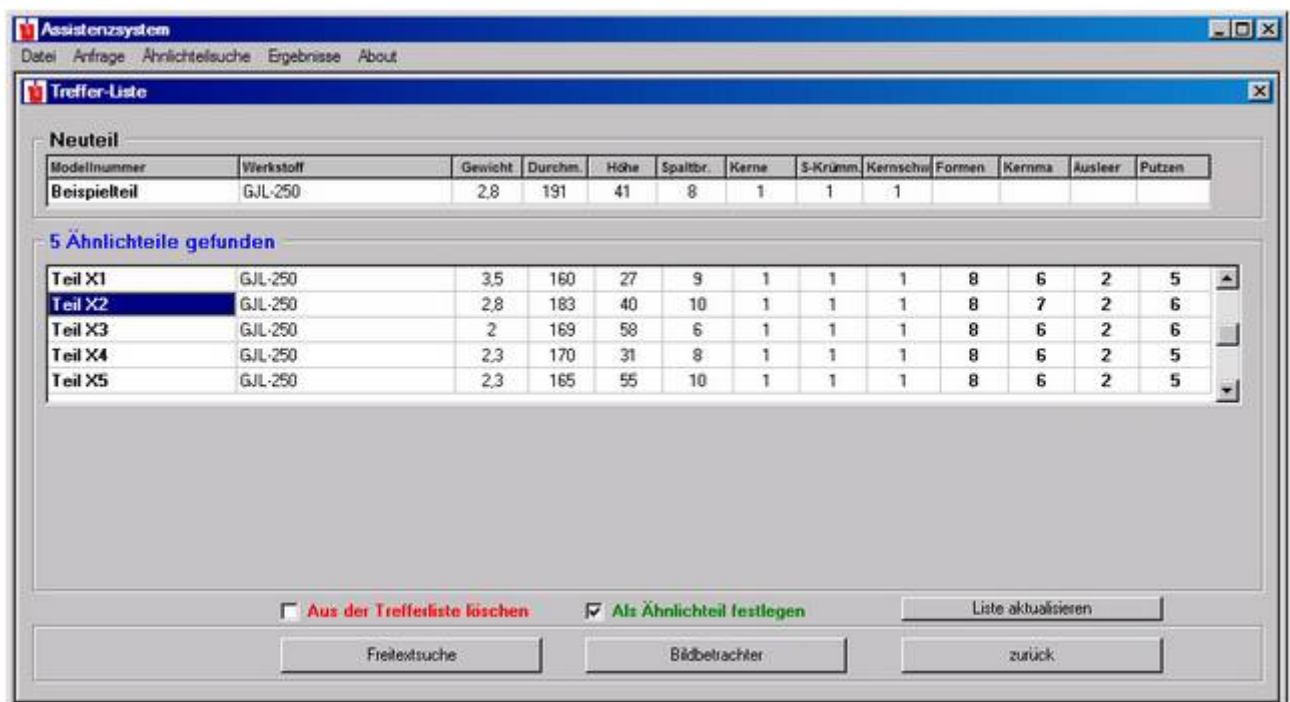


Bild 6.24 Anzeige der Trefferliste

Weiterhin kann sich der Planer durch eine Freitextsuche oder einen Bildbetrachter, einem wirklichen Ähnlichteil annähern.

Für eine effiziente Stichwortsuche sollten drei wesentliche Bedingungen gelten:

- eine Suche im gesamten Datenbestand oder in voreinstellbaren Feldern,
- Eingabemöglichkeit mehrerer Suchbegriffe sowie
- Verknüpfbarkeit mit UND, ODER und NICHT.

Dem wird im Softwareentwurf durch den im **Bild 6.25** dargestellten Dialog Rechnung getragen. Zusätzlich kann entschieden werden, ob diese Suche im bisherigen Trefferbereich (Beibehaltung der Selektionsergebnisse) oder als eigenständige Suche erfolgen soll (alle bisherigen Selektionseinstellungen



Bild 6.25 Dialog Stichwortsuche

werden aufgehoben). Damit wird sowohl die Suche durch eine weitere Selektion möglich oder der Nutzer kann, wie im PPS-System eine eigenständige Textsuche nach verknüpfbaren Stichworten durchführen.

Die Konstruktionsarbeit erfolgt inzwischen fast ausschließlich mit CAD-Systemen, meist auch in 3D. Ein großer Vorteil hierbei ist, dass man sich über eine 3D-Darstellung sehr schnell eine klare Vorstellung von der Teile-Geometrie verschaffen kann. Auch wenn viele Gießereien nicht direkt über derartige Software verfügen, besteht jedoch die Möglichkeit, sich mittels 3D-Viewern, 3D-Modelle anzusehen. Eine Einbindung einer solchen Software ist allerdings aufwendig. Weniger aufwendig und ebenso praktikabel ist die Archivierung schon gefertigter Gussteile in einer betriebsinternen Foto-Datenbank oder auch das Speichern von 3D-Bildern eines konstruierten Teils.

Da eine Ähnlichteilsuche bisher ohnehin im Kopf des Arbeitsvorbereiters auf der Basis seines Erinnerungsvermögens abläuft, folgt der Einsatz eines derartigen Hilfsmittels dem bekannten Arbeitsablauf. Demnach kann die Integration eines Bildbetrachters sowohl für die zusammenfassende Darstellung der Daten für das angefragte Gussteil (**Bild 6.26**), eine gezielte Suche oder in der Endauswahl einer bereits eingeschränkten Trefferliste genutzt werden.

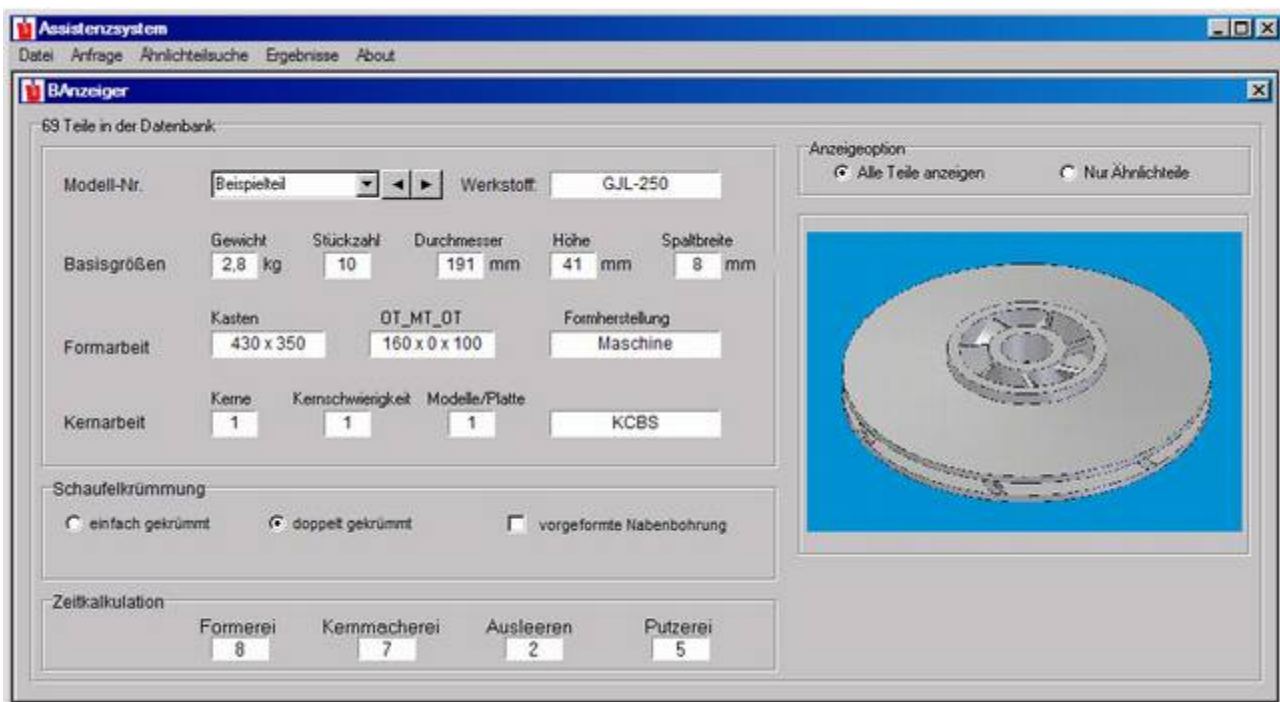


Bild 6.26 Beispielsoftware Bildbetrachter zur Visualisierung des Neuteils (Beispielteil)

In gleicher Weise kann die Verwendung weiterer externer Datenquellen sich positiv auf das Suchergebnis auswirken. Der Aufruf eines PDF-Readers ist unproblematisch und ist heutzutage nahezu auf jedem PC Standard. PDF-Dateien, die schon häufig für die digitale

Übermittlung von Zeichnungen Verwendung finden, können so beliebig integriert und zur Suche herangezogen werden.

Die unmittelbare Einbindung von Bildern in die Teiledatenbank wird ebenfalls von einigen PPS-Systemen unterstützt. Die gemeinsame Darstellung von Bild- und Teiledaten kann so zur weiteren Treffereinschränkung dienen. Im **Bild 6.27** wird hierzu ein derartiger Softwareentwurf abgebildet. Zusätzlich zu den Teiledaten wird eine Vorschau des Gussteiles oder einer Konstruktionsabbildung angezeigt.

Für einen direkten Vergleich zwischen den archivierten Daten des angezeigten Teils zu Eingabedaten des angefragten Teils werden die „Neuteil-Daten“ grün angezeigt.



Bild 6.27 Beispielsoftware Bildbetrachter für Teiledaten bzw. für Trefferliste (Ähnlichteile)

Auch hier besteht die Möglichkeit, das angezeigte Teil aus der Trefferliste zu löschen oder es als Ähnlichteil festzulegen. Auf die gleiche Weise kann die Teile-Datenbank nach Ähnlichteilen manuell durchsucht werden.

Da eine Selektion in diesem Programmabschnitt nicht, wie bisher, nach numerischen oder textlichen Kriterien erfolgt, sondern eine subjektive Entscheidung des Nutzers ist, besteht die Möglichkeit, das angezeigte Teil in die Trefferliste aufzunehmen oder dieses Teil sogar schon als das Ähnlichteil vorzumerken. Sollten weitere Teile so betrachtet werden, können diese gleichermaßen in die Trefferliste aufgenommen oder als Ähnlichteil festgelegt werden. Auf diese Weise ist es möglich, mehrere betrachtete Teile für die Zusammenfassung in die Trefferliste einzutragen. Jedoch nur ein Teil behält den Status des Ähnlichteiles, d.h. die vorherige Festlegung eines Ähnlichteiles wird durch eine neue Festlegung aufgehoben.

Mit der Bestätigung eines festgelegten Ähnlichteils wäre die Ähnlichteilsuche abgeschlossen. Nun kann ein Vergleich der Zeitkalkulation aus dem Arbeitsplan des Ähnlichteils mit den zuvor errechneten Zeitwerten erfolgen. Dazu sind die Daten für den Nutzer so aufzubereiten, dass die zu prüfenden Positionen schnell erkannt werden (farbig hervorgehoben).



Bild 6.28 Zeitkalkulation mit Ähnlichteilvergleich

Dazu wird im **Bild 6.28** nach erneuter Berechnung der Zeitkalkulation der Vergleich der berechneten Zeitwerte zu derjenigen des ausgewählten Ähnlichteils (Zeitwerte in Klammern) dargestellt. Im Beispiel weicht der errechnete Zeitwert für das Putzen von der des Ähnlichteils um eine Minute ab und wird deshalb Rot hervorgehoben. Der Planer erhält außerdem einen direkten Vergleich der Merkmale des Ähnlichteils (Klammerwerte) und des bearbeiteten Teiles.

Außerdem besteht auch von hier die Möglichkeit, sich das Ähnlichteil nochmals im Bildbetrachter, wenn ein Bild hinterlegt wurde, anzeigen zulassen („Treffer anzeigen“).

Stehen am Ende einer Ähnlichteilsuche mehrere Teile in der Trefferliste, erfolgt die Darstellung analog im Vergleich der Mittelwerte über alle numerischen Merkmale. Ebenso werden die berechneten Zeitwerte für das bearbeitete Laufrad mit den Mittelwerten der Zeiten aus den Arbeitsplänen dieser Ähnlichteile erfolgen.

Das **Bild 6.29** zeigt das Ergebnis der Vergleichskalkulation auf der Basis der 5 Treffer aus der im **Bild 6.24** dargestellten Trefferliste. Hierbei weicht der errechnete Wert für die Kernmacherei vom Mittelwert der zugrunde gelegten Ähnlichteile ab (ebenfalls Rot gekennzeichnet).

Um die einzelnen Einflussgrößen und die Zeitwerte der Ähnlichteile im Einzelnen zu vergleichen, kann die Trefferliste erneut von hier aufgerufen werden („Trefferliste“).

The screenshot shows the 'Assistenzsystem' software interface. The main window is titled 'Teile-Daten für Neuanfrage'. It contains several input fields and sections:

- Teilbezeichnung:** Laufrad
- Modell-Nr.:** Beispiel
- Werkstoff:** GJL-250
- Stückgewicht:** 2,8 kg (2,58)
- Stückzahl:** 10
- Durchmesser:** 191 mm (169)
- Höhe:** 41 mm (42)
- Spaltbreite:** 8 mm (9)
- Formverfahren:** Maschine
- Modelle/Platte:** 1
- Kastengröße:** 430 x 350
- Höhen UT / MT / OT:** 160 x 0 x 100
- Kernarbeit:** KCBS
- Anz. Kerne:** 1 (1)
- Kernschwierigkeit:** 1 (1)

The **Zeitkalkulation** section includes:

- Formerei:** 8 (8)
- Kernmacherei:** 7 (6) - A blue arrow points to this field.
- Ausleeren:** 2 (2)
- Putzen:** 5 (5)

Additional information in the 'Zeitkalkulation' section:

- Die Vergleichswert sind die Mittelwerte der Treffer-Kalkulationen.
- Buttons: Berechnung - Zeitkalkulation, Trefferliste, 5 Treffer gefunden!

Other sections on the right include:

- Laufrad-Typ:** radial (selected), diagonal, axial
- Bauart:** geschlossen (selected), halboffen, offen
- Schaufelkrümmung:** einfach gekrümmt, in sich gekrümmt
- vorgeformte Nabenbohrung:** nicht vorgesehen (selected), vorgesehen
- Buttons: Suchoptionen, Ähnlichteilsuche

Bild 6.29 Zeitkalkulation mit Mittelwertvergleich

Beide Varianten bieten dem Planer eine gute und schnelle Kontrolle der vom Programm errechneten Zeitkalkulation für die Formerei, Kernmacherei, das Ausleeren und Putzen auf der Basis von betriebsinternen Erfahrungswerten.

6.3 Zeitkalkulationen für die Laufradfertigung

Ziel dieses Abschnitts soll es sein, Lösungswege für eine schnelle und kritische Ermittlung der Planzeiten für die Form- und Kernherstellung sowie das Ausleeren und Putzen für ein Laufrad aufzuzeigen. Grundlage hierfür sind die Untersuchungen in der Referenzgießerei und weiterführende mathematische Überlegungen.

Bei PPS-Systemen erfolgt nach der Eingabe der Teiledaten und der Generierung des Arbeitsplanes die Angebotskalkulation. Bei einer zeitbasierten Kalkulation fließen neben den Eingaben der geplanten Fertigungszeiten betriebsspezifische Optionseinstellungen, (wie Rüstzeiten, Kosten je Minute und Planungsposition, Materialpreise) ein. Der Anwender ermittelt mit seinem Erfahrungswissen (zur Zeitkalkulation) und durch betriebsspezifische Festlegungen im Programm die Kalkulationsergebnisse.

Ziel dieser Arbeit ist es, den Aufwand für die Zeitkalkulation des Arbeitsplanes zu verringern und eine höhere Planungssicherheit auf der Basis vorhandenen Erfahrungswissens und durch die Anwendung von Formelsätzen zu erzielen. Auf der Basis von Berechnungen werden dem Planer Fertigungszeiten vorgeschlagen bzw. diese im Vergleich mit betrieblichen Erfahrungswerten für eigene Überlegungen zur Verfügung gestellt. Zusätzlich soll das Ergebnis einer erfolgreichen Ähnlichkeitsuche einfließen und die sich hieraus ergebende Zeitkalkulation für die Arbeitspläne mit Hilfe der Kalkulationsansätze einer kritischen Prüfung unterzogen werden.

Dafür wird ein Assistenzsystem (siehe **Abschnitt 6.2**) als Schnittstellenlösung zwischen der klassischen Datenerfassung in PPS-Systemen und den bewährten Kalkulationsmodellen geschaffen und eingeführt.

Für die Eignung und die Akzeptanz einer derartigen Softwareergänzung sind im Wesentlichen folgende Kriterien zu nennen:

- möglichst geringer zusätzlicher Eingabeaufwand,
- leichte Integration in vorhandene Arbeitsabläufe,
- Berücksichtigung von unternehmensspezifischen Erfahrungen,
- Möglichkeit des Ein- und Ausblendens von Ein- und Ausgabebereichen und
- Schnelle Auswertbarkeit – Ergebnisverwertung.

Aus den Erfahrungen mit derartigen Softwareentwicklungen und deren Nutzung aus anderen Forschungsprojekten ist nicht die Art der Software das entscheidende Kriterium, sondern der Aufwand zu deren Nutzung. Sind die Aufwendungen für die Integration in ein solches System und der zusätzlich erforderliche Eingabeaufwand überschaubar, werden die Vorteile einer Nutzung auch erkannt und respektiert. Sind diese Bedingungen jedoch

nicht erfüllt, ist nicht zu erwarten, dass sich auf Grund des Wettbewerbsdrucks (Zeitdruck) eine Lösung durchsetzt.

6.3.1 Grundsätzliche Vorüberlegungen zur Zeitkalkulation für Laufräder

Nachdem im **Abschnitt 6.1** die für die Zeitkalkulation im Arbeitsplan relevanten Merkmale der Laufräder herausgearbeitet und eine darauf basierende Ähnlichteilsuche im **Abschnitt 6.2** beschrieben wurde, sollen im Folgenden Überlegungen für die automatische Generierung einer Zeitkalkulation auf der Basis eines gefundenen Ähnlichteils angestellt werden.

Die Integration eines derartigen Features in PPS-Systeme ermöglicht die Rationalisierung und Qualifizierung der Angebotserarbeitung und stellt einen Gewinn gegenüber dem Kenntnisstand zu Standard-PPS-Systemen dar.

Unabhängig von den weiterführenden Erkenntnissen gilt der Grundsatz, dass die Arbeitsvorbereitungsunterlagen stets im Zusammenspiel zwischen den Erfahrungen der Spezialisten und den auf dem Rechner installierten Programmen erstellt werden.

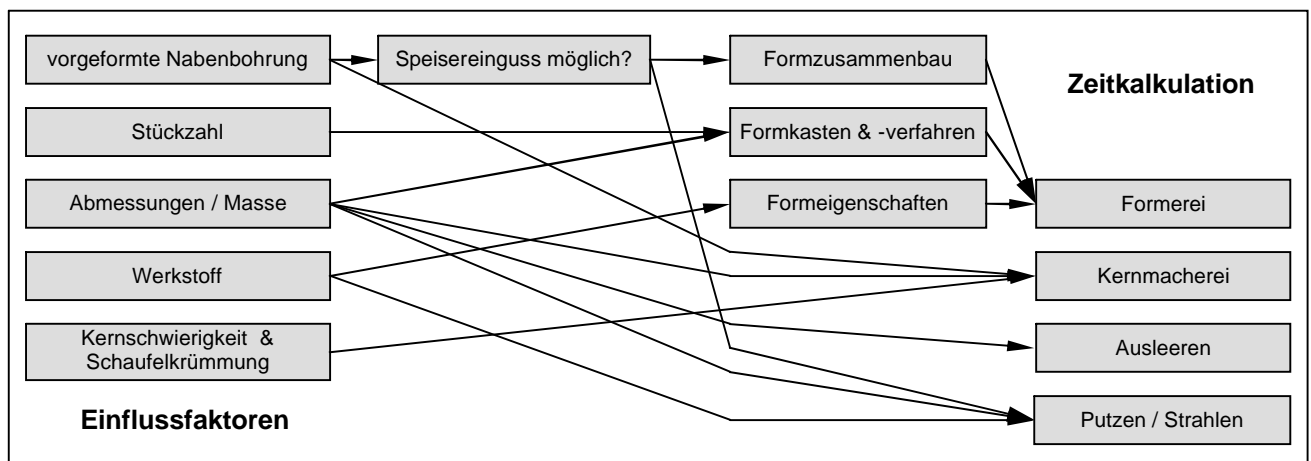


Bild 6.30 Einflussfaktoren der untersuchten Laufräder auf die Zeitkalkulation

Um für die im **Bild 6.30** dargestellten Zusammenhänge von Einflussfaktoren der untersuchten Laufräder auf die Zeitkalkulation im Arbeitsplan mathematische Ansätze zur Berechnung der Zeiten für Arbeitsplanpositionen zu finden, wurden folgende Überlegungen angestellt:

Eine vorgeformte Nabenbohrung hat Einfluss auf die Speisung und auf das Anschnittsystem (kein Speisereinguss verwendbar → Anschnittsystem erforderlich). Das wirkt sich auf die Formarbeit und den Putzaufwand aus.

Weiterhin wird durch den Einsatz eines zweiten Kerns für die Nabenbohrung eine Minute mehr Fertigungszeit pro Gussteil für die Kernmacherei in der Referenzgießerei kalkuliert. Dieser Zeitumfang kann angesetzt werden, da es sich bei dem zusätzlichen Kern um einen einfachen zylinderförmigen Kern handelt. Für die Kernmacherei werden als weitere

Einflussfaktoren die Schaufelkrümmung, deren Wanddicke und die Spaltbreite im Verhältnis zum Kerndurchmesser angesehen. Diese Größen sollen in Form einer Kernschwierigkeit in die Zeitkalkulation eingehen. In Einzelfällen kommt es aufgrund der Schaufelkrümmung zu einer Segmentierung der Schaufeln im Kernkasten. In diesem Fall ist der höhere Zeitaufwand für die Kernmacherei als zusätzliche Schwierigkeit zu berücksichtigen.

Die angefragte Stückzahl bzw. Losgröße hat Einfluss auf das Formverfahren – für seltene Teile kommt das Handformverfahren zum Einsatz. Gleiches gilt auch für große Teile (in Anhängigkeit von vorhandenen Maschinenformkästen).

Die Abmessungen bzw. die Masse eines Gussstücks haben den größten Einfluss auf die Zeitkalkulation. Sie wirken sich auf jede Position des Arbeitsplanens direkt oder indirekt aus. Eine ebenfalls große Bedeutung hat die Entscheidung zum Automatisierungsgrad der Form- und Kernherstellung (Automaten-, Maschinen- oder Handformerei). Die Zeitaufwendungen für die automatische Formherstellung konnten in der Referenzgießerei nicht untersucht werden, da eine derartige Technik nicht verfügbar ist.

Der Gusswerkstoff beeinflusst die Zeitkalkulation für das Putzen (siehe **Tabelle 6.1**). Für die untersuchten Teile wurde ein durchschnittlicher Koeffizient von 1,7 als Multiplikator (Werkstofffaktor) in der Zeitkalkulation für das Putzen von Bronzegussteilen gegenüber Gusseisenteilen ermittelt (Erklärbarkeit siehe **Abschnitt 6.1**). Da in der Referenzgießerei keine Daten zu Anzahl der Speiser und Speisungsflächen vorliegen, wird dieser Faktor in der weiteren Betrachtung zwar verwendet, es wird jedoch auf ein damit verbundenes Kalkulationsrisiko verwiesen. Die Einbeziehung der Anzahl der Speiser / Größe der Speisungsflächen sowie die Verwendung eines Anschnittsystems oder eines Speisereingusses, welche maßgeblich vom Werkstoff abhängig sind, haben unmittelbaren Einfluss auf den Putzaufwand. Aus diesem Grund sollten diese Daten zukünftig erfasst werden.

Der Einfluss des Gusswerkstoffs auf die Behandlung der Form bzw. auf die Verwendung eines abweichenden Kernformstoffes wurde in der Referenzgießerei nicht in der Angebotserarbeitung erfasst. Diese Aufwendungen werden bei den betriebsspezifischen Gemeinkosten je Gussstück berücksichtigt und konnten somit nicht in die Untersuchungen einbezogen werden.

6.3.2 Mathematisches Modell zur Generierung der Formzeiten für Laufräder

Zur Ermittlung eines Berechnungsmodells für die Fertigungszeiten in der Formerei wurden zunächst Arbeitspläne differenziert nach Maschinen- und Handformerei ausgewertet.

Dennoch sind die Vorüberlegungen zunächst vergleichbar.

Es wird davon ausgegangen, dass ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen der Formzeit und dem verarbeitenden Formstoffvolumen, welches sich aus Kastenvolumen abzüglich Rohteilvolumen sowie abzüglich Anschnitt und Speiser ergibt, bestehen muss. Ein weiterer Ansatz für die Ermittlung des Zeitaufwands für die Formherstellung wäre die Abhängigkeit vom Gussstückvolumen. Aufgrund der Proportionalität $m = \rho \cdot V$ kann auch die Gussstückmasse, die im PPS-System erfasst wird, als Ansatz dienen, da die Dichte ρ durch die Berücksichtigung des Werkstoffs indirekt erfasst wird.

Beide Größen: Formstoffvolumen und Rohteilmasse liegen ohnehin als Standarddaten aus PPS-Systemen vor.

Für das Maschinenformen werden in der Referenzgießerei nur drei verschiedene Modellplattenformate verwendet: (1) 430x350, (2) 580x520 und (3) 630x280. Während die Platten (1) und (3) etwa den gleichen Flächeninhalt besitzen (15 dm² bzw. 17,6 dm²) ist der der Platte (2) mit 30 dm² fast doppelt so groß.

Im **Bild 6.31** Diagramm (A) ist ersichtlich, dass bei Verwendung der Platten (1) und (3) bis auf wenige Ausnahmen 8 Minuten als Formzeit je Kasten geplant wird. Nach Aussagen des Planers ergeben sich die Abweichungen im Wesentlichen beim Einlegen der Kerne (Die Anzahl der Kerne für den untersuchten Laufradtyp beträgt 0 – 2). Für die Platte (2) sind Formzeiten von 15 Minuten verwendet worden. Da diese Zeiten aus den Arbeitsplänen mit eigenen Zeitnahmen übereinstimmten, wurden in der Planzeitformel auch derart berücksichtigt. Es sei angemerkt, dass die Berücksichtigung der Kernanzahl in der Formel (als Ergebnis der Regression der Arbeitsplanzeiten) vermutlich nur für den ausgewählten Laufradtyp anwendbar ist.

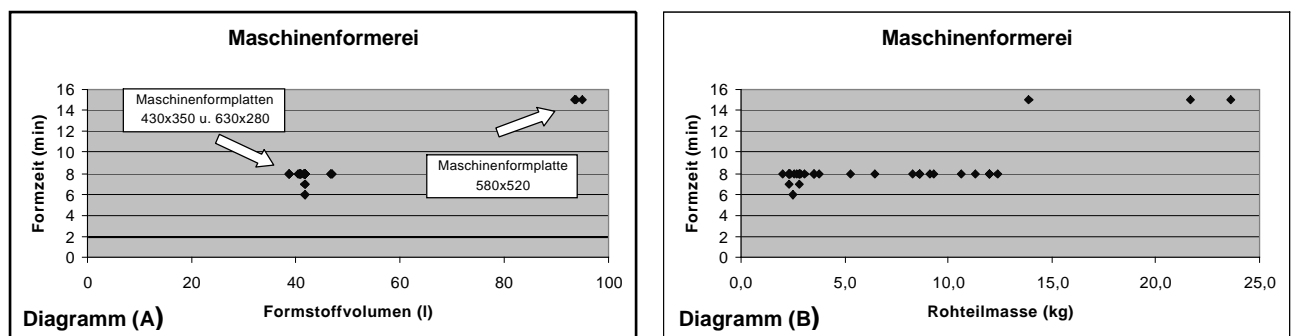


Bild 6.31 Auswertung der Zeitkalkulation für die Maschinenformerei aus Arbeitsplänen der Referenzgießerei

Das Diagramm (B) im **Bild 6.31** zeigt die Formzeiten in Abhängigkeit von der Rohteilmasse. Der Eindruck, es handelte sich hierbei um mehr untersuchte Gussstücke, entsteht durch den Sachverhalt, dass die Angabe des Rohteilgewichts im Vergleich zum Formstoffvolumen im PPS-System deutlich genauer erfolgt und es dadurch im Diagramm

(A) zu Überdeckungen von Wertdarstellungen kommt. Das Diagramm (B) bestätigt zusätzlich den Kalkulationsansatz, da die größeren (schweren) Laufräder einen größeren Kasten erfordern. So kann für die Berechnung der Formzeit für die Maschinenformerei in Abhängigkeit vom Formstoffvolumen erfolgen.

Im **Bild 6.32** werden die Zeitwerte für die Handformerei sowohl in Abhängigkeit vom Formstoffvolumen als auch von der Rohteilmasse für die in der Referenzgießerei ausgewerteten Arbeitspläne dargestellt. Die Streuung der Werte in beiden Diagrammen verdeutlicht die Kompliziertheit dieses Planungsbereiches. Im Vergleich beider Diagramme, denen 30 Arbeitspläne zugrunde liegen, ist zu erkennen, dass die Streuung der Punkte in beiden Diagrammen kaum funktionalen Zusammenhängen erkennen lassen (siehe Bestimmtheitsmaße).

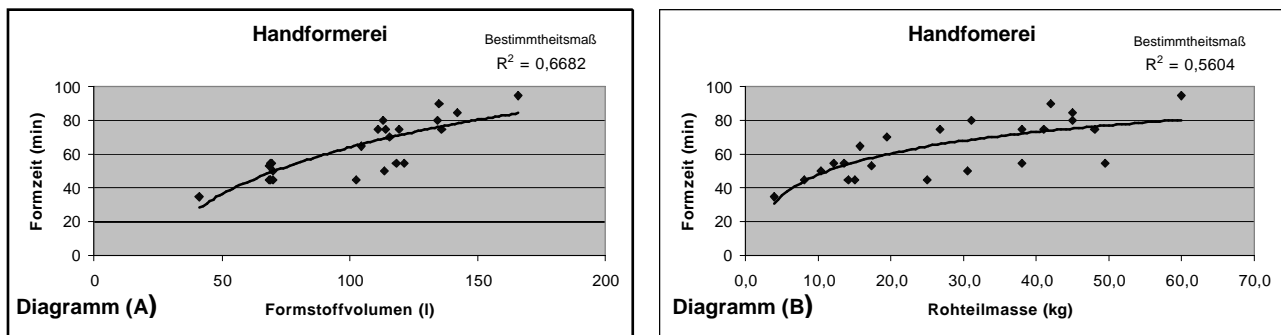


Bild 6.32 Auswertung der Formzeiten für die Handformerei aus Arbeitsplänen der Referenzgießerei

Aus diesem Grund wurden alle erfassten Daten der Handformteile (Gewicht, Gießgewicht, Werkstoffgruppe, Dichte, Volumen, Gießvolumen, Anzahl der Kerne, Durchmesser, Höhe und Spaltbreite des Laufrades, Kastenvolumen und Formstoffvolumen) zur Ermittlung einer Zielfunktion einer multiplen Regression unterzogen. Auch dieses Verfahren brachte keinerlei vertretbare Ergebnisse.

Es lag die Vermutung nahe, dass ein Teil der im PPS-System erfassten Daten nicht verlässlich waren. Aus diesem Grund wurden sowohl die Zeitkalkulationen für die Untersuchungsteile stichprobenartig durch Zeitaufnahmen überprüft als auch die Eingaben im PPS-System bzgl. der Kastengrößen einer kritischen Prüfung unterzogen. Die Zeitaufnahmen bestätigten im Wesentlichen die Kalkulationswerte. Hingegen wurden bei der Überprüfung der Kastengrößen teils deutliche Abweichungen festgestellt. Somit wurde die im **Abschnitt 6.2** beschriebene Ermittlung der Vorgaben für die Kastengrößen aus den Eingaben von Durchmesser und Höhe des Laufrades auf die Untersuchungsteile gemeinsam mit dem Technologen angewendet und in den Datenbestand übernommen. Außerdem wurden Untersuchungsteile von weiteren Betrachtungen ausgeschlossen.

Diese Maßnahmen führten bei Anwendung der multiplen Regression schließlich zu einem

eindeutigen Zusammenhang der Formzeit und Formstoffvolumen. Im **Bild 6.33** ersichtlich, ergibt sich bei Verwendung der, durch eigene Berechnungen ermittelten Formkastengrößen, ein hohes Bestimmtheitsmaß (0,9303) und eine nahezu lineare Anhängigkeit der Formzeit vom Formstoffvolumen. Das Ergebnis bestätigt unter Berücksichtigung der vorgenommenen Korrekturen die Herangehensweise zur Zeitkalkulation für die Handformerei in der Referenzgießerei.

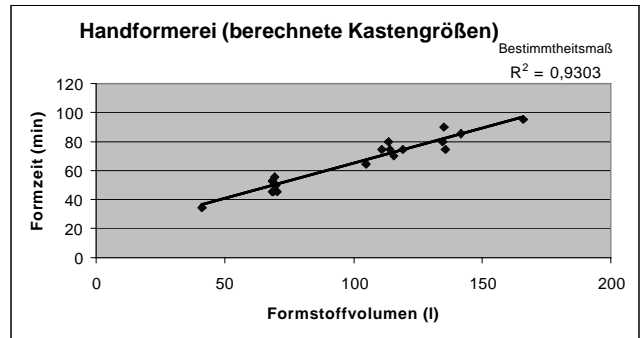


Bild 6.33 Formzeiten in Abhängigkeit vom Formstoffvolumen (errechnete Kastengrößen)

Allerdings wurde durch die erforderliche Nachbereitung der archivierten Daten deutlich, welche Bedeutung eine durch Nachkalkulation gesicherte Datenbasis hat und lässt den wirtschaftlichen Nachteil durch eine rein gefühlsmäßige Entscheidung für eine Kastengröße erkennen.

Für die gewählte Gussteilgruppe (geschlossene Laufräder) kann somit ein einfacher mathematischer Ansatz differenziert für die Maschinen- und die Handformerei zur Bestimmung der Formzeiten formuliert werden.

<u>Zeitkalkulation</u>	<u>Einflussgrößen</u>	<u>Erläuterung</u>
	Maschinenformerei ($Fv='M'$)	in Abhängigkeit vom Formstoffvolumen V_{Fs} (in l) und Anzahl der Kerne
Formerei Fv = Formverfahren	Handformerei ($Fv='H'$)	in Abhängigkeit vom Formstoffvolumen V_{Fs} (in l)
	Formstoffvolumen V_{Fs} (in l)	Abhängigkeiten je 2l
	Anzahl der Kerne n_K	für Maschinenformerei je Kern $\rightarrow + 1 \text{ min}$
<p>if (Fv = 'M') then $t_{Formen} = 1 \text{ min} \cdot (V_{Fs}^{0,72} \text{ div } 2l) + n_K$ else $t_{Formen} = 15 \text{ min} + 1 \text{ min} \cdot (V_{Fs} \text{ div } 2l)$</p>		

Tabelle 6.4 Ansatz zur Ermittlung der Formzeiten für Laufräder

Die mittlere Abweichung der so berechneten Formzeiten zu den verlässlichen Angaben aus den Arbeitsplänen beträgt ca. 2% (siehe **Anlage 14 Tabelle 9.5**).

Die Einbeziehung der Kernanzahl in die Berechnung der Formzeit für die Maschinenformerei (1 Minute je einzulegenden Kern) ist für den Laufradtyp zwar Ergebnis der Regressionsfunktion kann, ist bei Gussteilen mit mehr als zwei Kernen nicht zu verallgemeinern. Die vermuteten weiteren Abhängigkeiten der Formzeit vom Durchmesser des Laufrades und einem Mehraufwandes bei Bronzegussteilen bzgl. Anschnitt und

Speiser konnten bei der Auswertung der Daten nicht erkannt werden. Als Ursache wird die hohe geometrische Ähnlichkeit der untersuchten Laufräder angesehen. Außerdem werden in der Referenzgießerei keine Daten zu verwendeten Speisern erfasst, sodass eine Auswertung diesbezüglich nicht erfolgen konnte. Für eine Anwendung derartiger Überlegungen auf ein breiteres Gussteilesortiment sind diese Größen in die Betrachtungen jedoch einzubeziehen.

6.3.3 Mathematisches Modell zur Generierung der Kernformzeiten für Laufräder

Zur Ermittlung der Zeitaufwendungen für die Kernfertigung wurde zunächst wie bei der Formerei eine Unterscheidung nach dem Kernformverfahren (Einsatz der Kernschießmaschine KCBS und Handkernformerei) vorgenommen. Im **Bild 6.34** wird der Zusammenhang zwischen den ausgewerteten Kernformzeiten und den Rohteilmassen für beide Verfahren gegenübergestellt.

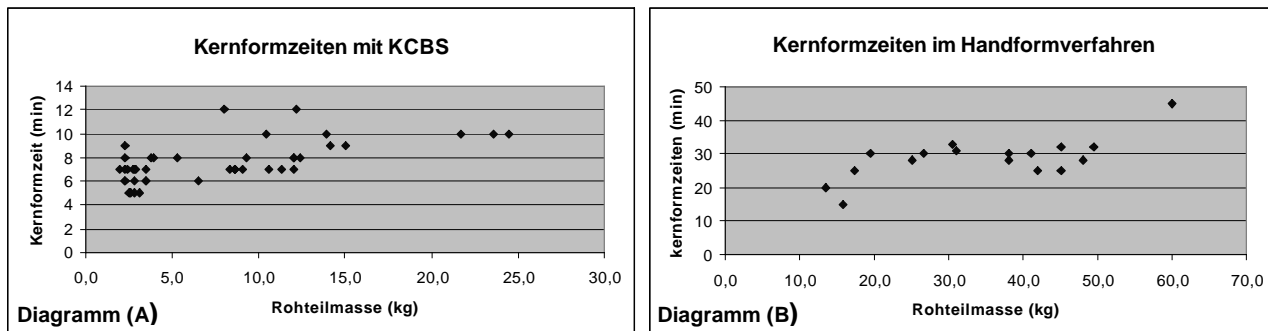


Bild 6.34 Auswertung der Kernformzeiten in Abhängigkeit von der Rohteilmasse

Die Streuung der Punkte in beiden Diagrammen macht deutlich, dass in die Ermittlung der Kernformzeiten weitere Einflussgrößen eingehen. In der Referenzgießerei wird hierzu eine subjektive Einschätzung des Schwierigkeitsgrades vorgenommen. So werden die Abmessungen (das Verhältnis Spaltbreite zu Durchmesser, die Art der Schaufelkrümmung und die Verwendung eines zusätzlichen Bohrkerns) als Schwierigkeiten eingeschätzt. Um diese Erfahrungswerte in einen verlässlichen Schwierigkeitsgrad einzubeziehen, wurden folgende Abhängigkeiten für die Kernschwierigkeit des untersuchten Laufradtyps festgelegt:

Kernherstellung	Kernschwierigkeit
Einsatz der KCBS (normal → nur ein Kern/Hauptkern)	1
Einsatz der KCBS (normal) mit Bohrkern bzw. Einsatz der KCBS (schwierig) z.B. Schaufelsegmentierung erforderlich	2
Einsatz der KCBS (schwierig) mit Bohrkern	3
Kernherstellung im Handformverfahren (normal)	4
Kernherstellung im Handformverfahren (normal) mit Bohrkern	5
Kernherstellung im Handformverfahren (schwierig) z.B. Schaufelsegmentierung	6
Kernherstellung im Handformverfahren (schwierig) mit Bohrkern	7

Tabelle 6.5 Schwierigkeitsgrade für die Kernherstellung

Es erwies sich als zweckmäßig, Schaufelkrümmung nicht in die Kernschwierigkeit einzubeziehen, sondern diese als Restschwierigkeit und damit als separate Einflussgröße zu betrachten. Sollte jedoch auf Grund der Schaufelkrümmung eine Segmentierung der Schaufeln im Kernkasten erforderlich werden, wird dies in den Kernschwierigkeiten 2, 3, 6 und 7 (schwierig) berücksichtigt.

Durch die Anwendung der multiplen Regression wurden neben dem Schwierigkeitsgrad weitere Einflussgrößen ermittelt. In die Rechnung gingen zunächst Rohteilgewicht, Werkstoff, Art der Schaufelkrümmung, Anzahl der Schaufel, Anzahl der Kerne (Hauptkern, Bohrungskern), Durchmesser, Höhe und Spaltbreite des Laufrades ein.

Die Regressionsrechnung ergab bei einem Bestimmtheitsmaß von 0,977 eine Abhängigkeit der Kernformzeit von der Kernschwierigkeit, der Rohteilmasse (als bereits im PPS-System erfassten Größe) und der zusätzlich zu erfassenden Spaltbreite.

<u>Zeitkalkulation</u>	Einflussgrößen	Erläuterung
<u>Kernmacherei</u>	Rohteilmasse m (in kg)	Als Maß für die Größenzuordnung des Laufrades
	Spaltbreite b_{Sp} (in mm)	sowohl Maß für die Dicke des Kerns, als auch als Kennzeichen für die Schwierigkeit dünner Kerne
	Kernschwierigkeit Ks	siehe Tabelle 6.5 (kennzeichnet Art der Kernherstellung, sowie den Einsatz eines zusätzlichen Bohrungskerns)
	Schaufelkrümmung Sk	Bei in sich gekrümmten Schaufeln $\rightarrow Sk = 1$ sonst $Sk = 0$
$t_{Kern} = 1 \text{ min} \cdot ((m_{Rohteil} \text{ div } 5kg) + (15mm \text{ div } b_{Sp}) + \text{round}(4,5 \cdot Ks) + Sk)$		

Tabelle 6.6 Ansatz zur Ermittlung der Kernformzeiten für Laufräder

Das in **Tabelle 6.6** dargestellte mathematische Modell wurde auf über 60 Teile angewendet, wobei die mittlere Abweichung zu den Angaben in den Arbeitsplänen bei ca. -1% liegt (siehe **Anlage 14 Tabelle 9.5**).

Die Berechnung der Kernformzeit erfasst auf diese Weise die Gesamtkernarbeit, also die Summe der Kernformzeiten für den Hauptkern (Spalt- und Schaufelausbildung) und für den Bohrungskern, wenn eine vorgeformte Nabenbohrung vom Kunden gewünscht wird. Auf Grund der Einfachheit des Bohrungskerns (Zylinderkern) wird hierfür 1 Minute kalkuliert. Bei größeren Laufrädern entspricht die Kernformzeit für den Bohrungskern durchschnittlich jeweils einem Achtel der Kernformzeit des Hauptkerns. Diese Vereinfachung ist wiederum nur für den untersuchten Laufradtyp vertretbar. Im Allgemeinen sind bei mehreren Kernen diese jeweils einzeln zu betrachten und zu kalkulieren.

6.3.4 Mathematisches Modell zur Generierung der Ausleerzeiten für Laufräder

Zur Berechnung der Ausleerzeiten wird davon ausgegangen, dass bei weitestgehender geometrischer Ähnlichkeit (gleiche geometrische Komplexität) der untersuchten Laufräder sich als entscheidender Einflussfaktor das Kastenvolumen darstellt, da beim Ausleeren der Formstoff vom Guss zu trennen ist. Diese Annahme wurde auch durch die Erfahrungen in Referenzgießerei bestätigt.

Allerdings ergab die Auswertung der Arbeitspläne diesbezüglich keine eindeutige Abhängigkeit (siehe **Bild 6.35**). So wurden hier auch eigene Zeitnahmen an Laufrädern des ausgewählten Laufradtyps vorgenommen. Außerdem wurden in Zusammenarbeit mit dem Technologen die Arbeitspläne bzgl. der Ausleerzeiten kritisch betrachtet.

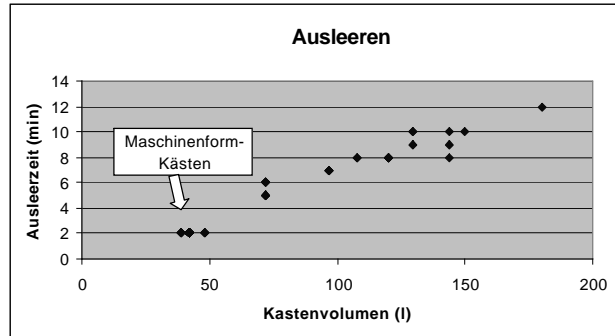


Bild 6.35 Ausleerzeiten in Abhängigkeit vom Formstoffvolumen

Für einen mathematischen Ansatz wurden die gesicherten Ausleerzeiten zu Grunde gelegt. Als gesichert gilt eine Ausleerzeit für die Maschinenformkästen von 2 Minuten (siehe **Bild 6.35**). Ebenso ist eine Zunahme der Ausleerzeiten in Abhängigkeit vom Kastenvolumen ersichtlich. Zur Ermittlung der Regressionsfunktion wurden zusätzlich die Werkstoffgruppe Durchmesser und Höhe des Laufrades und das Formstoffvolumen als mögliche Einflussgrößen untersucht. Die Berechnung ergab, dass unter Verwendung des Formstoffvolumens ein höheres Bestimmtheitsmaß erzielt wurde. So werden für das mathematische Modell die 2 Minuten als Basiszeit und jeweils 3,5 Minuten je angefangene 50l Formstoffvolumen angesetzt:

<u>Zeitkalkulation</u>	Einflussgrößen	Erläuterung
<u>Ausleeren</u>	Formstoffvolumen V_{FS} (in l)	Basis bei allen Untersuchungsteilen $t = 2$ min
		Formstoffvolumen je 50l
$t_{Ausleeren} = 2 \text{ min} + \text{round}(3,5 \text{ min} \cdot (V_{FS} \text{ div } 50l))$		

Tabelle 6.7 Ansatz zur Ermittlung der Ausleerzeiten für Laufräder

Mit der in **Tabelle 6.7** dargestellten Bestimmung der Ausleerzeit wird eine mittlere Abweichung der berechneten zu den in der Gießerei erfassten Ausleerzeiten von ca. 1 % erreicht (siehe **Anlage 14 Tabelle 9.5**).

6.3.5 Mathematisches Modell zur Generierung der Putzzeiten für Laufräder

In Auswertung der Arbeitspläne bezüglich der Putzzeiten von identischen Laufrädern aus Bronzeguss und Gusseisen wurde ein Werkstofffaktor von 1,7 für Bronzeguss- gegenüber Gusseisenteile (siehe **Anschnitt 6.1.3**) ermittelt. Dieser lässt sich zum einen aus den unterschiedlichen Bearbeitungsmethoden und zum anderen aus dem Mehraufwand für das Trennen eines aufwendigeren Anschnitt- und Speiser-Systems erklären.

Zur Bestimmung der Zeiten für das Putzen wurden folgende Überlegungen angestellt:

Die Putzzeit ist im unmittelbaren Zusammenhang mit dem Umfang des Laufrades zu betrachten. Ein Grat entsteht an der Teilungsebene. Für Laufräder ist die Teilungsebene durch eine weitestgehend standardisierte Einformlage (siehe **Bild 6.2**) festgelegt. Damit ergibt sich die Länge des Grates durch den Umfang des Laufrades. Breite und Höhe des Grates sind von form- und gießereitechnischen Bedingungen abhängig (z.B. Zustand des Modells, Formstofftemperatur, Abkühlgeschwindigkeit) [93]. Demnach können diese in der Praxis von berechneten / erwarteten Werten abweichen [94]. Aus diesem Grund wird angenommen, dass am Umfang des Laufrades ein gleichmäßig, ausgebildeter Grat entsteht, der eine gleichmäßige Bearbeitung zulässt. Es kann demnach davon ausgegangen werden, dass sich die Putzzeit aus einer Basiszeit für das Trennen von Anschnitt und Speiser und einem vom Durchmesser und der Masse des Laufrades abhängigen Zeitwert für das Entgraten errechnet. Zusätzlich ist der Einfluss des Werkstoffs zu berücksichtigen.

Derartige Überlegungen wurden in der Referenzgießerei noch nicht angestellt. Außerdem wird eine verlässliche Erfassung der Ist-Werte für die Bearbeitungszeit in der Putzerei vermisst. Lediglich in der Rückmeldung der Gesamtleistung der Schicht können die in den Arbeitsplänen kalkulierten Zeiten im Mittelwert bestätigt werden. Aus diesem Grund wurde hier auf eine grafische Auswertung der Arbeitsplandaten verzichtet.

<u>Zeitkalkulation</u>	Einflussgrößen	Erläuterung
Putzen	Werkstoff W_f (Gusseisen- und Bronzeguss)	Werkstofffaktor für Gusseisen $\rightarrow W_f = 1,0$ für Bronzeguss $\rightarrow W_f = 1,7$
	Masse m_{Rohteil} (in kg)	für $m < 10$ kg abhängig vom Umfang
	Umfang (aus Durchmesser d_{Laufrad} (in mm))	für $m > 10$ kg abhängig von Umfang und Masse
<p>If ($m < 10$ kg) then $t_{\text{Putzen}} = 4 \text{ min} + 1 \text{ min} \cdot \text{round}(W_f \cdot (d_{\text{Laufrad}} \text{ div } 100\text{mm}))$ else $t_{\text{Putzen}} = 4 \text{ min} + 2 \text{ min} \cdot \text{round}(W_f \cdot ((d_{\text{Laufrad}} \text{ div } 150\text{mm}) + (m_{\text{Rohteil}} \text{ div } 10\text{kg})))$</p>		

Tabelle 6.8 Ansatz zur Ermittlung der Putzzeiten für Laufräder

Zur Bestätigung der in **Tabelle 6.8** dargestellten funktionalen Zusammenhänge wurden, wie auch bei den anderen Planzeitberechnungen, die Abweichungen der Einzelwerte und des Mittelwertes zu den in den ausgewerteten Arbeitsplänen ermittelt. Erwartungsgemäß kommt es aufgrund der neuen Herangehensweise zur Ermittlung der Putzzeiten zu einzelnen teils deutlichen Abweichungen. Im Mittelwert allerdings beträgt die Abweichung ca. 5% (siehe **Anlage14 Tabelle 9.5**). Damit wird den zugrunde gelegten Erfahrungswerten Rechnung getragen. Zur Erhöhung der Planungssicherheit und für die Einbeziehung von Ähnlichteilbetrachtungen sind jedoch eine gezielte Datenerfassung und Korrektur der Planzeiten erforderlich. Außerdem sei nochmals darauf verwiesen, dass die Verwendung des Werkstofffaktors in der Planzeitformel nur als Kompromiss angesehen wird. Verlässlichere Ergebnisse sind unter Einbeziehung von Speisungs- und Anschnittsflächen zu erwarten.

6.3.6 Anwendung des mathematischen Modells auf ein Beispielteil

Mit den dargestellten mathematischen Berechnungsansätzen ist somit eine praktikable Grundlage geschaffen worden, die sich an den für über 60 untersuchte Gussteile zugrunde gelegten Erfahrungswerten orientiert und diese im Wesentlichen auch bestätigt. Im Folgenden werden die ermittelten Formelansätze exemplarisch auf das im **Abschnitt 6.2** für die Ähnlichteilsuche ausgewählte Beispiel-Laufrad angewendet.

Für das Beispielteil ist bekannt:

$m = 2,8 \text{ kg}$; $Wf = 1,0$ (Gusseisen); Anzahl der Kerne $\rightarrow n_K = 1$;
 Durchmesser $d = 191 \text{ mm}$; Spaltbreite: $b_{Sp} = 8 \text{ mm}$; in sich gekrümmte Schaufeln $\rightarrow Sk = 1$;
 Maschinenformverfahren $\rightarrow Fv = 'M'$; Formstoffvolumen $V_{Fs} = 42 \text{ l}$;
 Kernherstellungsverfahren $\rightarrow Kv = 'KCBS'$ und kein Bohrkern \rightarrow Kernschwierigkeit: $Ks = 1$

Formerei:

$$\text{if (Fv = 'M')} \text{ then } t_{Formen} = 1 \text{ min} \cdot (V_{Fs}^{0,72} \text{ div } 2l) + n_K$$

$$\text{else } t_{Formen} = 15 \text{ min} + 1 \text{ min} \cdot (V_{Fs} \text{ div } 2l)$$

mit $Fv = 'M'$ \rightarrow

$$t_{Formen} = 1 \text{ min} \cdot (42l^{0,72} \text{ div } 2l) + 1 \text{ min}$$

$$t_{Formen} = 1 \text{ min} \cdot (14,68l \text{ div } 2l) + 1 \text{ min}$$

$$t_{Formen} = 1 \text{ min} \cdot 7 + 1 \text{ min}$$

$$\underline{\underline{t_{Formen} = 8 \text{ min}}}$$

Kernmacherei:

$$t_{Kern} = 1 \text{ min} \cdot ((m_{Rohteil} \text{ div } 5kg) + (15mm \text{ div } b_{Sp}) + \text{round}(4,5 \cdot Ks) + Sk)$$

$$t_{Kern} = 1 \text{ min} \cdot ((2,8kg \text{ div } 5kg) + (15mm \text{ div } 8mm) + \text{round}(4,5 \cdot 1) + 1)$$

$$t_{Kern} = 1 \text{ min} \cdot (0 + 1 + 5 + 1)$$

$$\underline{\underline{t_{Kern} = 7 \text{ min}}}$$

Ausleeren:

$$t_{\text{Ausleeren}} = 2 \text{ min} + \text{round}(3,5 \text{ min} \cdot (V_{F_S} \text{ div } 50l))$$

$$t_{\text{Ausleeren}} = 2 \text{ min} + \text{round}(3,5 \text{ min} \cdot (42l \text{ div } 50l))$$

$$t_{\text{Ausleeren}} = 2 \text{ min} + 3 \text{ min} \cdot 0$$

$$\underline{\underline{t_{\text{Ausleeren}} = 2 \text{ min}}}$$

Putzerei:

$$\text{If } (m < 10 \text{ kg}) \text{ then } t_{\text{Putzen}} = 4 \text{ min} + 1 \text{ min} \cdot \text{round}(Wf \cdot (d_{\text{Lauftrad}} \text{ div } 100\text{mm}))$$

$$\text{else } t_{\text{Putzen}} = 4 \text{ min} + 2 \text{ min} \cdot \text{round}(Wf \cdot ((d_{\text{Lauftrad}} \text{ div } 150\text{mm}) + (m_{\text{Rohteil}} \text{ div } 10\text{kg})))$$

$$\text{mit } m = 2,8 \text{ kg} \rightarrow$$

$$t_{\text{Putzen}} = 4 \text{ min} + 1 \text{ min} \cdot \text{round}(Wf \cdot (d_{\text{Lauftrad}} \text{ div } 100\text{mm}))$$

$$t_{\text{Putzen}} = 4 \text{ min} + 1 \text{ min} \cdot \text{round}(1 \cdot (191\text{mm} \text{ div } 100\text{mm}))$$

$$t_{\text{Putzen}} = 4 \text{ min} + 1 \text{ min} \cdot \text{round}(1)$$

$$t_{\text{Putzen}} = 4 \text{ min} + 1 \text{ min} \cdot 1$$

$$\underline{\underline{t_{\text{Putzen}} = 5 \text{ min}}}$$

Eine weitere Anwendung der vorgestellten Zeitkalkulation ist in **Anlage 15** für das Teil F (Masse = 48 kg) dargestellt.

6.3.7 Verwendung der errechneten Fertigungszeiten im Ähnlichkeitvergleich

Stellt man die derart ermittelten Planungszeiten denen eines gefundenen Ähnlichteils (Beispiel aus **Abschnitt 6.2.3**) gegenüber (**Tabelle 6.9**) werden die Abweichungen zu der Zeitangaben aus dem Arbeitsplan des Ähnlichteils (rot gekennzeichnet) erkennbar.

Teil	Rohteil-Gewicht (in kg)	Werkstofffaktor	Spaltbreite (in mm)	Anz. d. Kerne	Schaukelkrümmung	Kernschwierigkeit	Durchmesser (in mm)	Formstoff-Volumen (in l)	Formerei / KA (in min)	Kernmacherei / Ke (in min)	Ausleeren (in min)	Putzen / Stück (in min)	Bemerkung
Ähnlichteil	2,8	1,0	10	1	1	1	183	42	8	7	2	6	aus Arbeitsplan
Beispielteil	2,8	1,0	8	1	1	1	191	42	8	7	2	5	errechnet

Tabelle 6.9 Anwendung des mathematischen Modells zur Zeitkalkulation für Laufräder

Bei der Übernahme des Arbeitsplanes des Ähnlichteils für die Zeitkalkulation des angefragten Teils (Beispielteil) würden die von den errechneten Werten abweichenden Zeiten ebenfalls rot (vergleiche **Bild 6.28**) gekennzeichnet und damit dem Planer als zu überprüfende Positionen sichtbar werden. Es ist für diese Fall erkennbar, dass die für das Beispielteil errechneten Werte und die aus dem Arbeitsplan des gefundenen Ähnlichteils nur geringfügig abweichen. Dennoch kann der Planer auf diese Weise für eventuelle Anpassungen der Zeitkalkulationen im Angebotserarbeitungsprozess sensibilisiert und so

mögliche Folgefehler aus Ähnlichkeitbetrachtungen zukünftig vermieden werden.

Wie bereits im **Abschnitt 6.2.3** ausgeführt, könnte eine zweite Methode zur Kontrolle der Zeitkalkulation Anwendung finden. Sind zum Ende der Ähnlichteilsuche mehrere Teile in der Trefferliste und der Planer möchte keine Entscheidung für genau **ein** Ähnlichteil treffen, kann eine Mittelwertbildung der für die Ähnlichteile hinterlegten Zeitkalkulationen aus den Arbeitsplänen erfolgen.

In der **Tabelle 6.10** wird die Trefferliste der 5 Ähnlichteile zum Beispielteil unter Verwendung einer Massentoleranz von $2,0 \text{ kg} < m < 4,0 \text{ kg}$ mit den Eintragungen aus den Arbeitsplänen (vergleiche **Bild 6.24**) und der sich daraus ergebenden gerundeten Mittelwertbildung im Vergleich zu den für das Beispielteil errechneten Werten dargestellt.

Teil	Rohteil-Gewicht (in kg)	Werkstofffaktor	Spaltbreite (in mm)	Anz. d. Kerne	Schaukelkrümmung	Kernschwierigkeit	Durchmesser (in mm)	Formstoff-Volumen (in l)	Formerei / KA (in min)	Kernmacherei / Ke (in min)	Ausleeren (in min)	Putzen / Stück (in min)	Bemerkung
X1	3,5	1,0	9	1	1	1	160	42	8	6	2	5	aus Arbeitsplan
X2	2,8	1,0	10	1	1	1	183	42	8	7	2	6	aus Arbeitsplan
X3	2,0	1,0	6	1	1	1	169	42	8	7	2	5	aus Arbeitsplan
X4	2,3	1,0	8	1	1	1	170	42	8	6	2	6	aus Arbeitsplan
X5	2,3	1,0	10	1	1	1	165	42	8	8	2	6	aus Arbeitsplan
Mittelwerte	2,6	1,0	9	1	1	1	169	42	8	6	2	5	gerundete Werte
Beispielteil	2,8	1,0	8	1	1	1	191	42	8	7	2	5	errechnet

Tabelle 6.10 Mittelwertbildung als Basis für eine Zeitkalkulation für Laufräder

Wie man aus den Ergebnissen der Mittelwertbildung erkennt, liefert auch diese Methode einen praktikablen und wirtschaftlich vertretbaren Kontrollansatz unter der Voraussetzung einer geeigneten Wahl von zugelassenen Abweichungen (Parametertoleranz) zum angefragten Gussteil.

In gleicher Weise, wie beim ersten Vorschlag, werden dem Planer die entsprechenden Abweichungen signalisiert (vergleiche **Bild 6.29**), sodass eine detaillierte Überprüfung der berechneten Werte vorgenommen werden kann.

In **Tabelle 6.11** werden die berechneten und aus den Arbeitsplänen entnommenen Werte und deren Abweichungen zueinander für die Referenzteile B – F dargestellt.

Die **Anlage 14 Tabelle 9.5** beinhaltet diese Gegenüberstellung für alle untersuchten Laufräder, die die Grundlage für die Ermittlung der funktionalen Zusammenhänge dienen. Mit einer Abweichung der berechneten Zeitwerte für das Formen, die Kernmacherei, das Ausleeren und die Putzerei in ihren Mittelwerten von -1% bis 5% zu den Zeitwerten aus der Arbeitsplananalyse bildet das verwendete mathematische Modell die auf Erfahrungen beruhenden Zeitwerte der Referenzgießerei ab.

Teil	Formverfahren	Kernformverfahren	Rohteil-Gewicht (in kg)	Werkstofffaktor	Spaltbreite (in mm)	Anz. d. Kerne	Schäufelkrümmung	Kernschwierigkeit	Durchmesser (in mm)	Formstoff-Volumen (in l)	Formzeit (beobachtet) (in min)	Formzeit (berechnet) (in min)	prozentuale Abweichung	Kernformzeit (beobachtet) (in min)	Kernformzeit (berechnet) (in min)	prozentuale Abweichung	Ausleerzeit (beobachtet) (in min)	Ausleerzeit (berechnet) (in min)	prozentuale Abweichung	Putzzeit (beobachtet) (in min)	Putzzeit (berechnet) (in min)	prozentuale Abweichung
B	M	M	2,4	1,0	8	1	1	1	170	42	8	8	0%	7	7	0%	2	2	0%	4	5	25%
C	M	M	2,7	1,7	8	2	1	1	170	42	8	9	13%	7	7	0%	2	2	0%	6	6	0%
B	M	M	2,6	1,0	9	1	1	1	165	39	8	7	-13%	7	7	0%	2	2	0%	5	5	0%
C	M	M	2,8	1,7	9	1	1	1	165	42	8	8	0%	7	7	0%	2	2	0%	8	6	-25%
D	M	M	8,6	1,0	22	1	1	1	280	41	8	8	0%	7	7	0%	2	2	0%	6	6	0%
D1 _{mod}	M	M	10,6	1,7	22	1	1	1	280	41	8	8	0%	7	8	14%	2	2	0%	10	11	10%
D	M	M	9,3	1,0	22	2	0	2	280	41	8	9	13%	11	10	-9%	2	2	0%	6	6	0%
D1 _{mod}	M	M	12,4	1,7	22	2	0	2	280	47	8	9	13%	11	11	0%	2	2	0%	10	11	10%
E	H	H	45,0	1,0	21	1	1	4	514	135	80	82	2%	25	28	12%	10	9	-10%	15	18	20%
F	H	H	48,0	1,0	31	2	1	5	514	119	75	74	-1%	28	33	18%	9	9	0%	15	18	20%

Tabelle 6.11 Anwendung der Zeitkalkulation auf Referenzteile B – E

Legende: errechneter Wert Wert aus dem Arbeitsplan

Es wurde jedoch auch deutlich, dass die Verlässlichkeit der Datenbasis und auch z.T. der Herangehensweise nicht in jedem Fall gegeben war. So wurden die weiterführenden Überlegungen aus den durchgeführten Untersuchungen und die Vorstellung der Softwarelösung von den Mitarbeitern der Gießerei begrüßt.

Ein erster Praxistest der Berechnungsgrundlage erfolgte in der Referenzgießerei und bestätigte den Ansatz für das Maschinenformen. Bezüglich der Handformerei sollen die errechneten Werte durch gezielte Zeitnahmen und eine konsequente Datendokumentation kritisch geprüft werden. In gleicher Weise sollen die Putzzeiten behandelt werden. Die Erfassung der zusätzlichen Teiledaten: Durchmesser, Höhe und Spaltbreite sowie die empfohlene Ermittlung der Speiser und Anschnittflächen wurde im Zuge der Auswertung der Zeichnung für neue Gussteile wird als vertretbarer Mehraufwand angesehen.

Seitens der Unternehmensleitung wurde die Nutzung des Softwaretools begrüßt. Eine Erweiterung auf andere Rotationsteile ist bereits angedacht. Der Nutzen dieses Hilfsmittels für die Unterstützung und Objektivierung der Angebotserstellung wird erkannt. Auch im Hinblick auf einen bevorstehenden Mitarbeiterwechsel (Generationenwechsel) in der Arbeitsvorbereitung wird darin ein Beitrag zur Wahrung und weiteren Nutzung von langjährigen Erfahrungen sowie der gezielten Nutzung moderner Rechentechnik zu diesem Zweck gesehen.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Das Gießen von metallischen Werkstoffen hat, besonders in Deutschland, eine hervorragende volkswirtschaftliche Bedeutung. Die ständig wachsenden Produktionszahlen beweisen dies [01].

Mit der Globalisierung der Wirtschaft sind jedoch bedeutend höhere Anforderungen an die Gussproduktion verbunden: Weiterentwicklung der Gussprodukte, insbesondere für den Leichtbau (Automobilindustrie), Erhöhung der Genauigkeit, bessere Werkstoffeigenschaften usw., aber besonders auch hinsichtlich einer effektiveren Fertigung unter Berücksichtigung des scharfen Wettbewerbs mit Produzenten in Niedriglohnländern.

Ein Aspekt der Effektivitätssteigerung ist die Rationalisierung der Arbeitsvorbereitung.

In den vergangenen Jahren sind vielfältige PPS-Systeme in den Gießereiunternehmen eingeführt worden, die bereits einen erheblichen Zuwachs an Produktivität in den arbeitsvorbereitenden Abteilungen erbracht haben.

Aufgrund der Komplexität und des hohen technologischen Anspruchs des Gießprozesses haben Erfahrungen einen besonders hohen Stellenwert in der Arbeitsvorbereitung. Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit eines Gießereiunternehmens ist hierbei die Angebotserstellung von entscheidender Bedeutung. Ein besonderer Nachteil der gegenwärtigen Tätigkeit in der Arbeitsvorbereitung von Gießereien ist das Fehlen einer objektivierte Vorgehensweise zur Auswahl von Ähnlichteilen aus dem meist großen Fundus an Wissen über bereits gefertigte Gussstücke.

Während für die geometrische Ähnlichkeit mit den hochentwickelten CAD – Systemen kurzfristig eine Aussage erreicht werden kann, liegen nur wenige wissenschaftliche Erkenntnisse zur Suche nach technologisch ähnlichen Gussstücken vor.

Mit der vorliegenden Arbeit wird am Beispiel einer Gießerei mit weitgehend geometrisch ähnlichen Gussstücken ein Lösungsvorschlag für eine objektivierte und rationelle Suche nach Ähnlichteilen aus technologischer Sicht unterbreitet und erprobt. Weiterhin wird das Ergebnis der Ähnlichteilsuche unter Nutzung des Erfahrungswissens aus der Referenzgießerei für eine rechnergestützte Zeitkalkulation für die ausgewählte Teilegruppe genutzt.

Mit der aufgezeigten Vorgehensweise ist nicht nur eine rasche Auswahl von technologisch ähnlichen Teilen aus dem existierenden Teilefundus möglich, sondern es sind auch in extrem kurzer Zeit Fehler in der Bewertung früherer Teile oder bezüglich der Aufschreibung der Daten erkennbar.

Die gefundene Lösung erlaubt prinzipiell die erweiterte Anwendung für andere Gussstückgruppen.

Diese Aufgabe sollte künftigen wissenschaftlichen Arbeiten vorbehalten sein.

Es wird vorgeschlagen, dass in der weiteren Verfolgung der angegangenen wissenschaftlichen Aufgabe zunächst in der Referenzgießerei die Palette der untersuchten Gussteile erweitert wird, bevor die Untersuchungen auf weitere Gießereien angewendet werden. Das wesentliche Argument für diese vorgeschlagene Vorgehensweise ist die aufgeschlossene Haltung der in der Arbeitsvorbereitung tätigen Technologen und des Managements des Untersuchungsbetriebes.

Für erforderlich und realisierbar wird auch die Ergänzung bestehender PPS-Systeme um einen Baustein für die Ermittlung technologisch ähnlicher Teile aus dem vorhandenen Teilestamm gesehen.

8 Verzeichnisse

8.1 Literaturverzeichnis

- [01] Perlitz, U.:
Lage und Perspektiven der Gießerei-Industrie – Mittelstandsbranche mit Zukunft
Deutsche Bank Research Oktober 2007
- [02] Todte, M.; Schmidt, K.:
Minimierung von Bearbeitungszugaben durch komplexe Temperaturfeld- und Spannungssimulation
Giesserei-Rundschau 48, 2001 Heft 3/4 S.16-19,21-23
- [03] Perlitz, U.:
Gießereien in Deutschland – Mittelstandsbranche mit Zukunft
Deutsche Bank Research 1. Juni 2005 Nr. 323
- [04] Schumacher, M.; Größchen, M.:
Projekt INPROCESS
Deutscher Gießereiverband DGV e.V.
Lehrstuhl für Umweltwirtschaft und Controlling, Universität Duisburg – Essen 2004
- [05] Weber, H.:
Rechnergestützte Messverfahren
Vogel-Fachbuch 1996
- [06] Schütt, K.-H.; Hintze, S.:
Simulationswerkzeug zur Planung und Steuerung von Gießereiprozessen
Giesserei 82, 1995, Heft 16, S. 501-502
- [07] Wielpütz, G.:
Entwicklung und Einsatz von Schnellkalkulationen zur zügigen Angebotserstellung
Giesserei-Erfahrungsaustausch ERFA 2003 S.8-18
- [08] Dreher, E.:
MRM – heute und in Zukunft
Präsentation zum ADICOM-Kundentag 2003
http://www.adicom.de/cm/downloads/Foliensatz_JITJIS_ueberarbeitet.pdf (14.05.2003)
- [09] Lange, H.:
Höhere Kalkulationssicherheit im Werkzeugbau durch Normalien- und Rechner-Systematik
Giesserei-Erfahrungsaustausch Nr. 38, 1994, Heft 3, S. 93-95
- [10] Kröttsch, S.:
Angebotserarbeitung in Gießereien mit Hilfe einer strukturabhängigen Steuerung
Dissertation, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg 2001
- [11] Pacyna, H.:
Klassifikation von Gussstücken
Habilitationsschrift, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 1969
- [12] Eversheim, W.:
Organisation in der Produktionstechnik Band 2
VDI-Verlag 1990
- [13] Skorodumov, S.V.; Iscenko, V.V.; Sirotkin, S.V.:
Neue Informationstechnologien für die Entwicklung und Beschleunigung progressiver Gießverfahren
Litejnoe Proizv., 1997, Heft 4, S. 48
- [14] Gottschalk, E.; Schenk, M.:
Produktionsprozeßsteuerung in Gießereien
Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1987

- [15] anonym:
Produktkalkulation in integrierten Systemen
Gießerei-Erfahrungsaustausch Nr. 44, 2000, Heft 5, S. 275-278
- [16] anonym:
Moderne Informationstechnologien in der Gießerei
Gießerei 86, 1999, Nr. 12 S. 106-107
- [17] Eversheim, W.; Minolla, W.; Fischer, W.:
Angebotskalkulation mit Kostenfunktion in der Einzel- und Kleinserienfertigung
Beuth-Verlag 1977
- [18] Wiesner, S.; Hofmann, I.; Werner, G.:
Methodik der Fehleranalyse und datenbankgestützte Umsetzung in gießgerechte Konstruktion
BMBF-Projekt 2003-2006
- [19] Werner, G.; Hofmann, I.; Brahmman, M.; Langer, T.; Kreppenhofer, D.; Kühn, M.; Wiesner, S.:
Wissensmanagement in Kunden-Lieferantenbeziehungen
REFA/VDG Erfahrungsaustausch, EFRA 2007
- [20] Heckel, T.; Klein, F.:
Formfüllung und Erstarrung beim Druckgießen – Ein Vergleich zwischen Versuch und Simulation
Gießereiforschung 55, 2003, Heft 2, S.42-50
- [21] Krack, R.:
DiEdifice – ein Programm zur Gießlaufgestaltung
Druckguss-Praxis Nr. 2, 2003, Heft 2, S. 75-76
- [22] Fischer, W.; Minolla, W.:
Rationalisierung der technischen Angebotsbearbeitung
Beuth-Verlag, Berlin 1981
- [23] Heuel, O.:
"Just in time"-Druckgußfertigung und deren Einfluß auf den Formenbau
Gießerei-Erfahrungsaustausch Heft 3, 1998, S. 91-96
- [24] anonym:
"Just in time"-Fertigung von Formteilen und deren Auswirkung auf den Formenbau
Der Stahlformbauer Heft 2, 1993, S. 6-12
- [25] Ambos, E.; Hofmann, I.; Kröttsch, S.; Pfisterer, W.; Scheler, R.:
Rechnerunterstützte Arbeitsvorbereitung - der Weg in die Zukunft
Gießereifachmesse 2002
- [26] Schütze, Th.:
Vorkalkulation von Druckgießformen
Diplomarbeit Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg 1996
- [27] Hofman, I.; Scheler, R.; Kröttsch, S.; Ambos, E.; Pfisterer, W.; Miersch, N.:
Effektivitätssteigerung durch Einsatz rechentechnischer Lösungen in der Arbeitsvorbereitung
Deutscher Gießereitag in Leipzig 2003
- [28] Röders, E.:
Möglichkeiten zur Vorkalkulation von Druckgieß- und Spritzgießwerkzeugen
Der Stahlformbauer Heft 1, 1993, S. 36-46
- [29] Grund, M.:
Die Behandlung von Metallpreisabweichungen in der Kalkulation
Gießerei 82, 1995, Nr. 13, S. 467-468
- [30] Ambos, E.; Hornig, Th.; Pfisterer, W.:
Rationalisierung der Angebotsbearbeitung in der Gießerei – ein dringendes Erfordernis
Gießerei 82 (1995) Nr. 9

- [31] Binder, F.:
Rechnergestützte Klassifikation im Rahmen der Angebotsbearbeitung für Gussteile
Diplomarbeit Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg 1995
- [32] Müller, W.:
Software zur Angebotserstellung im Formenbau
Der Stahlformbauer Heft 3, 2003, S. 6-12
- [33] Kroeber, S.; Spailer, M.:
Synonym-Wörterbuch
Bertelsmann Lexikon Verlag 1982
- [34] Lichtenberg, H.:
Fertigungsplanung – Grundlagen für Produktionstechniker
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg 05/2001
- [35] Montau, R.; Zwicker, E.:
Datenbankgestützte Ähnlichteilsuche in CAD anhand eindeutiger Suchmechanismen
<http://cadeth.ethz.ch/Konstr/Publicat/caos.html> (10.09.2006)
- [36] Scheler, R.; Hofmann, I. Ambos, E.; Pfisterer, W.:
Rechnergestützte Ähnlichkeitssuche bei der Angebotsbearbeitung für Gussstücke, Teil 1
Gießerei 87, 2000, Heft 4, S. 72 – 79
- [37] Wikipedia – Die freie Enzyklopädie
<http://de.wikipedia.org> (2005 – 2008)
- [38] Kamber; F.:
Modellgesetze. Von der geometrischen Ähnlichkeit
TECH.RDSCH.,BERN * Band 69 (1977) Heft 42, S. 1-5
- [39] Jung, Y.; Wang, E.; Kim, Y.:
Feature Recognition with Part Family Information to Support efficient Machining Process Planing
Konferenz-Einzelbericht: ICME 2002
- [40] CAD-Infos
<http://www.cad-infos.de/cad-systeme.html> (27.10.2006)
- [41] Nursanto, W.:
Anwendungen von Rapid Product Development und deren potentielle Nutzung bei konsequentem Einsatz
Diplomarbeit Hochschule für Technik Wirtschaft und soziale Arbeit St. Gallen 2001
- [42] Schunke, A.:
Ähnlichteilsuche für die rechnergestützte Konstruktion
Fortschrittsberichte VDI, Reihe 20, Nr. 22 (1990) S. 1-134
VDI-Verlag
- [43] Release Notes TransMagic R7 SP0.0
CAMTEX GmbH
http://www.ci-base.de/datenaustausch/download/TransMagic_R7_SP00_Releasenotes_C.pdf
(09.05.2007)
- [44] Rasch, A.:
Untersuchung zur Ähnlichkeit von Gussteilen unter Anwendung innovativer Suchstrategien und -verfahren
Diplomarbeit, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg 1997
- [45] Berchtold, S.; Keim, D. A.; Kriegel, H. P.:
Section Coding: Ein Verfahren zur Ähnlichkeitssuche in CAD-Datenbanken
Konferenz-Einzelbericht: Datenbanksysteme in Büro, Technik und Wissenschaft, GI-Fachtagung (1997), S. 152 – 171

- [46] Klein, B.:
CAD/CAM-Anwendungen im Stahl- und Maschinenbau
Industrie-Anzeiger Band 108, 1986, Heft 68, S. 56-58
- [47] Actify Corporation
The Active Suite of Products
San Francisco 2006
- [48] Kröttsch, S.:
Analyse von CAD/CAM-Systemen unter Berücksichtigung gießereitechnischer Aspekte
Praktikumsarbeit, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg 1995
- [49] anonym:
Intelligentes Teilemanagement
Konstruktions-Praxis Ausgabe 4/2005
- [50] Unigraphics Solutions GmbH
3D-CAD: Produktive Suche nach geometrisch ähnlichen Teilen
KEM, Ausgabe 4/2007, S. 122
- [51] Sokolovski, A.P.:
Probleme der Typisierung technologischer Prozesse
Moskau: LONITOMASCH 1938
- [52] Eversheim, W.; Deuse, J.:
Teilefamilienbildung auf der Grundlage von Produktmodellen
Innovative Produktionstechnik
Hanser 1958
- [53] Lierath, F.; Ambos, E.; Petzold, W.:
Fertigungslehre Teil 1
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg 1999
- [54] Reinbach, H.; Vogt, L.:
Mit Teilefamilien zum Erfolg.
Anlagenbau: Durchstrukturierte Variantenvielfalt dank ausgelieferter CAD/CAM-Technik
Industrielle Informationstechnik * (1998) Heft 4, Seite 16-18,30
- [55] Behrens, B. A.:
Systematische Suche ähnlicher Schmiedeteile
Umformtechnik Band 39 (2005) Heft 2, S. 40-42
- [56] Krüger-Kronstett, C:
Ähnlichteilssuche für Schmiedeteile
phi-Produktionstechnik Ausgabe 3 (2005) S.12-13
- [57] 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
- [58] Malek, M.:
Vereinheitlichtes Klassifikationssystem für Gussteile
Slevarenstvi 13, S. 301
- [59] Czikel, J.:
Die Klassifikation von Gussstücken
Gießerei 53 (1966) Heft 8, S. 218 – 224
- [60] Rosenberger, H.:
Technologische Klassifizierung von Gussstücken
Zentralinstitut für Gießereitechnik Leipzig 1965

- [61] Müller, D. H.; Thoben, K. D.:
Erkennung von Wiederhol- und Ähnlichkeiten mit Hilfe von CAD
Konferenz-Einzelbericht: Automatisierung der Fertigung im Schiffbau, 19. Int. Tagung der
Ingenieurhochschule für Seefahrt * Band C (1989) S. 10 – 17
- [62] DIN 6763 – Nummerung
Dezember 99, Beuth Verlag
- [63] Schiffer, F.; Tempelhof, K.-H.:
Fertigungsprozeßgestaltung im Maschinenbau- und Gerätebau
Verlag Technik und Berlin 1981
- [64] DIN 4000 Sachmerkmal – Leisten
Teil: 1 (1975) 101 (1994) 104 (1997)
Beuth Verlag
- [65] Dujan, B.; Tautz, W.:
Priamos: Sachmerkmal-Leisten,
Schneller Zugriff auf Wiederholteile über Sachmerkmalleisten
Dok.Nr. 08-430-09-07-05-DE-0705 (2005)
- [66] Rao, K. S. P.; Krishnasswamy, K. N.; Srinivasan, M. N.; Muralidharan R.:
Group technology in foundry - a casting classification system for design and manufactur
Konferenz-Einzelbericht: Globalisation - challenge to Indian foundries
Proc. Of the 42nd Indian Foundry Congress, Ahmedabad 1994
- [67] Feist, C.; Granow, R.:
Ähnlichkeitssuche mit Hilfe der Clusteranalyse
VDI Zeitschrift * Band 124 (1982) Heft 13, S. 487 – 495
- [68] anonym:
Fuzzy-Logic: Grundlagen, Anwendungen, Hard- und Software
München: Franzis, 2. Auflage 1992
- [69] Altrock, C. v.:
Breite Anwendung der Fuzzy-Logik in Deutschland
VDI-Nachrichten Nr. 18 (1993) S. 7
- [70] Grabowski, H.:
Suchsystem zur Informationsfindung
VDI - Berichte Nr. /13/647, 1987
- [71] Grabowski, H; Vogel, H.:
Klassifizieren, Suchen und Ordnen von geometrischen Informationen durch automatische
Verschlüsselung
Konstruktion 44 (1992) S. 286 – 290
- [72] Müller, M.; Forkel, M.:
Strukturähnlichkeit von Produktmodellen
Zeitschriftenaufsatz: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb * Band 90 (1995) Heft 9
- [73] Bartelt, P. F.; Moberly, J.:
Applying artificial Intelligence to the modern foundry
Modern Casting, Band 86 (1996) Heft 2, Seite 52-55
- [74] McNeil, A. R.; Sarkodie-Gyan T.; Watson, A.:
A neural Network based recognition scheme for the classification of planar shapes
Konferenz-Einzelbericht: 27th ISATA, Mechatronics&Supercomputing Applications in the
Transportation Industries, Int. Symp. On Automotive Technol and Automation Aachen 1991
- [75] Hofmann, I.; Scheler, R.; Krötzsch, S.; Ambos, E.; Pfisterer, W.; Miersch, N.
Effektivitätssteigerung durch rechentechnische Lösungen in der Arbeitsvorbereitung
Deutscher Gießereitag Leipzig 2003

- [76] Scheler, R.; Hofmann, I. Krötzsch, S.; Ambos, E.; Pfisterer, W:
Rechnergestützte Ähnlichkeitssuche bei der Angebotsbearbeitung für Gussstücke, Teil 2
Gießerei 87 (2000) Heft 8 S. 72 – 78
- [77] anonym:
Methoden des Produktdatenmanagements
http://www.bachelor-mechatronik.de/inhalt/ept_sem1/ept_mitschrift.pdf (02.11.2006)
- [78] Hamilton, P.:
Die maschinelle Gesichtserkennung wird praxisreif
c't-Archiv, 2/1997, S. 86
- [79] Schiebeler, R.; Ehrlenspiel, K.:
CAD-Geometrieanalyse mit einem wissensbasierten System als
Konstruktionsberater (ReKK)
VDI-Berichte Nr. 1079 (1993), VDI-Verlag Düsseldorf
- [80] anonym:
Durchgängige Nutzung von 3D-Werkstückmodellen für eine technologieorientierte Vorkalkulation im
Rahmen einer feature-basierten Operations- und NC-Planung
EXAPT, Aachen 14. Juni 2004
<http://www.exapt.de/export/download/FVP/Vorkalkulation.pdf> (02.11.2006)
- [81] Haasis, S.; Mischkolin, F.; Züfle, J.:
Features in der Praxis. CAD-unterstützte Herstellung von Rohteilen und Gießereimodellen
Produktion und Management Band 85 (1995) Heft 7/8 S.393-398
- [82] Jahnke, H.; Retzke, R.; Weber, W.:
Umformen und Schneiden
Verlag Technik Berlin 1981
- [83] Hofmann, I.:
Vorlesungsscript „Fertigungstechnische Abläufe“
Fachhochschule Merseburg 04/2007
- [84] Eversheim, W.:
Organisation in der Produktionstechnik Band 3
VDI-Verlag 1989
- [85] Bilddokument
Kreispumpenschnitt
<http://de.wikipedia.org/wiki/Kreispumpe> (28.12.2007)
- [86] Miersch, N.:
Rechnergestützte Generierung von Gussteilen aus Eisengusswerkstoffen für kastenlose Formen mit
vertikaler Formteilung
Dissertation, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg 2002
- [87] Szymczyk, J.A.; Panten, T.:
Pumpen und Anlagenkennlinie
Fachhochschule Strahlsund
Script ST 2/2006
- [88] anonym:
ITT Industries
PUREFLO® Kreispumpen
Die JP- und JN-Baureihe
2007
- [89] Grundfos Pumpen Vertrieb Ges.m.b.H. (Austria)
Kreispumpen – Prinzip und Bauformen
<http://www.grundfos.com/web/homeAT.nsf/webPrintView/8CD3A8F609E0B6FCC125657200298FAA>
(27.01.2008)

- [90] Sulzer Pumpen
Kreispumpen Handbuch
Vulkan-Verlag Essen 1997
- [91] anonym:
Kreispumpen Lexikon
KSB 1989
- [92] Werner, G.; Hofmann, I.; Brahmman, M.; Langer, T.; Kreppenhofer, D.; Kühn, M.; Wiesner, S.:
Wissensmanagement in Kunden-Lieferantenbeziehungen
REFA/VDG Erfahrungsaustausch - ERFA 2007
- [93] Kraft, K.
Fertigungstechnik Urformen
Verlag Technik Berlin 4. Auflage 1982
- [94] Ambos, E.; Beier, H.-M.:
Nachbehandlung von Gußstücken
Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig 1984
- [95] Benninger Guss AG
ADI-Gusswerkstoffe – Für extreme Bedingungen wie geschaffen
adi-folder, Uzwil Schweiz 2004
- [96] Glossar
ADICOM-Informatik
<http://www.adicom.de/cm/glossar.asp?site=1> (20.05.2003)
- [97] Berry; Linoff:
Data Mining Techniques: For Marketing, Sales, and Customer Support:
John Willey & Sons 1997
- [98] VDI 2218 :
Feature-Technologie
VDI-Richtlinie Düsseldorf 1999
- [99] Brunhuber, E.
Gießerei-Lexikon
Fachverlag Schiele & Schön 14. Auflage 1987
- [100] REFA-Lehrunterlage „Gießerei“
Kap. 4 – Datenermittlung
REFA Darmstadt 1990
- [101] Beitz, W.; Grote, K.-H.:
Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau
Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 20. Auflage 2001
- [102] Brunhuber, E.:
Praxis der Druckgußfertigung
Fachverlag Schiele & Schön GmbH Berlin 3. Auflage
- [103] Frommer, L.; Lieby, G.:
Druckgieß-Technik
Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2. Auflage 1965
- [104] Ambos, E.:
Urformtechnik metallischer Werkstoffe
Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig, 3. Auflage 1990
- [105] Wang, Y.-Z.:
Formenordnung als Hilfsmittel für die technische Planung von Druck- und Kokillenguss
Dissertation, Montanuniversität Leoben 1994

- [106] Wagner, A.:
Ermittlung grundsätzlicher Zusammenhänge zwischen wichtigen und charakteristischen
Gussteilparametern und den daraus ableitbaren Preisen
Diplomarbeit Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg 1997
- [107] Kuhnert, W.; Werner, G.:
EDV-gerechte Verschlüsselung – Grundlagen und Anwendung moderner Nummerungssysteme
Stuttgart / Wiesbaden : Forkel 1981
- [108] Friemuth, U.; Sander, U.; Seidel, H.:
Schlanke Organisations- und Produktionsstrukturen - zur Situation in der deutschen Gießereiindustrie
Gießerei 83 (19996) 5, S.21 – 24
- [109] Borges, A.; Köllen, K.:
Untersuchungen über einen zweckmäßigen Aufbau von Arbeitsvorbereitungen in Gießereien
Gießerei 65 (1978) 12 S. 332 – 337
- [110] Cierjacks, M.; Antoni, C.; Resch, D.; Mangold, R.
IVA Instrument zur Vorgangsanalyse
Daimler Benz 1996
http://www.psychologie.uni-mannheim.de/cip/leute/mac/iva_page.htm (12.01.2008)
- [111] anonym:
Leitfaden für Interface-Gestaltung
ETH Zentrum für Produkte-Entwicklung
Zürich 2001

8.2 Bilderverzeichnis

	Seite
Bild 2.1 : Wettbewerbsfaktoren, Nutzenpotentiale [08]	7
Bild 2.2 : Teilaufgaben der Angebotserarbeitung [12]	9
Bild 2.3 : Von einer Anfrage zum Angebot – Angebotserarbeitung in einer Gießerei	9
Bild 2.4 : Ablauf der Auftragsabwicklung im Fertigungsprozess einer Gießerei (vereinfacht)	10
Bild 2.5 : Wege der Anfrageunterlagen (Durchlauf) [10]	11
Bild 2.6 : Wege der Anfrageunterlagen (Diskussion) [10]	11
Bild 2.7 : Wege der Anfrageunterlagen (differenziert nach Schwierigkeit des Teils) [10]	11
Bild 2.8 : Zeitbedarf beim Herstellen einer Druckform [28]	17
Bild 3.1 : Integration der Ähnlichteilsuche in die Angebotsphase (nach [36])	22
Bild 3.2 : Zerlegung eines Bauteils in Teilkörper	23
Bild 3.3 : Ähnlichkeitsbetrachtungen eines Bauteils	24
Bild 3.4 : Verbreitungsgrad von CAD-Software in der Industrie – Stand 2001 [41].....	24
Bild 3.5 : Teilefamilie „Membranpumpenkörper...“ [55].....	28
Bild 3.6 : Schematische Darstellung des Recherchemoduls [55]	29
Bild 3.7 : Hauptgruppen und Gruppen der Gussstückklassifikation nach Malek [58]	30
Bild 3.8 : Klassifikation nach Rosenberger [60]	32
Bild 3.9 : Ansätze zur Strukturierung von Teilespektren [61]	35
Bild 3.10 : Reibscheibe [36]	36
Bild 3.11 : Beispiel eines Gussteilordnungssystems nach der geometrischen Grundform für die Anwendung von Sachmerkmal-Leisten [36]	37
Bild 3.12 : Grundformklassifikation für Gussstücke [75]	38
Bild 3.13 : Visuelle Ähnlichteilsuche [76]	39
Bild 3.14 : Geometrievergleich eines angefragten und des dokumentierten Gussteiles im Ensemble im CAD-System SolidWorks [76]	39
Bild 3.15 : Visueller Technologieabgleich [76]	39
Bild 3.16 : Dendrogramm (Single Linkage) für ein Klassifikationsbeispiel [36].....	41
Bild 3.17 : Untersuchung von Werkzeugspektren mit der Clusteranalyse [67].....	41
Bild 3.18 : Beispiel von Zugehörigkeitsfunktionen der Fuzzy-Logic für die Einteilung der Länge von Gussteilen [36] ..	43
Bild 3.19 : Fourieranalyse mit Amplitudenspektrum an einer geschlossenen Kontur [77]	44
Bild 3.20 : 4-9-6-5 - Neuronales Netz von Binder (schematisch) [44]	46
Bild 3.21 : Ablauf einer Ähnlichkeitskalkulation mit Hilfe eines Feature-Trees in der Spannungstechnik [80]	47
Bild 3.22 : Entscheidung für ein Wiederhol-, Ähnlich- und Neuteil durch geometrische Formähnlichkeiten [76]	51
Bild 3.23 : Möglichkeiten der rechentechnischen Ablage von Geometriedaten für Ähnlichkeitsvergleiche [76]	52
Bild 3.24 : Merkmale von Fertigungsaufgaben der Gussstückfertigung [76]	53
Bild 3.25 : Funktionen und Problemlösungsarten bei der Arbeitsplanung [84]	54
Bild 6.1 : Laufrad als Kernstück einer Kreiselpumpe [84].....	60
Bild 6.2 : Standard-Einformlage für Laufräder	62
Bild 6.3 : Schritte der Angebots- und Auftragsbearbeitung in der betroffenen Gießerei	65
Bild 6.4 : Verschiedene Bauarten von Laufrädern [86]	69
Bild 6.5 : Ein- und zweiströmige Laufräder [86].....	69
Bild 6.6 : Verschiedene Bauarten von Radiallaufrädern [87], [88]	70
Bild 6.7 : Geometrische Grobklassifikation von Laufrädern [91]	70
Bild 6.8 : Aufbau eines Laufrades	72
Bild 6.9 : Laufrad ohne vorgeformte Nabenbohrung	72
Bild 6.10 : Laufrad mit vorgeformte Nabenbohrung.....	72
Bild 6.11 : Einfach (a) und zweifach (b) verdrehte Schaufeln im Kernkasten	72
Bild 6.12 : Gruppenbildung für untersuchte Laufräder nach Technologiemerkmalen	73
Bild 6.13 : Teil A Zweifachplattenbelegung mit Anschnittssystem	74
Bild 6.14 : Teil B Zweifachplattenbelegung ohne Anschnittssystem	74
Bild 6.15 : a) Modell zu Teil D, b) Modell zu Teil D1 (modifiziert), c) gleicher Kernkasten für beide Teile.....	75
Bild 6.16 : Auszug aus dem Klassifikationsschema nach Rosenberger	77
Bild 6.17 : Einflussgrößen bei den untersuchten Laufrädern auf Arbeitsplanung und Kalkulation	79
Bild 6.18 : Assistenzsystem zur Ähnlichteilsuche im Zuge der Angebotserarbeitung	81

Bild 6.19 : 3D-Darstellung des Beispiellaufrades	82
Bild 6.20 : Übernahme der Basisdaten aus dem PPS-System in das Assistenzsystem	84
Bild 6.21 : Generierung von Formverfahren, Plattenbelegung und Kastengrößen durch das Assistenzsystem	84
Bild 6.22 : Zeitkalkulation aus Eingabegrößen	85
Bild 6.23 : Suchoptionen (Parameterübereinstimmungen und -toleranzen) für eine Ähnlicheilsuche	86
Bild 6.24 : Anzeige der Trefferliste	87
Bild 6.25 : Dialog Stichwortsuche	87
Bild 6.26 : Beispielsoftware Bildbetrachter zur Visualisierung des Neuteils (Beispielteil).....	88
Bild 6.27 : Beispielsoftware Bildbetrachter für Teilestamm bzw. für Trefferliste (Ähnlicheile).....	89
Bild 6.28 : Zeitkalkulation mit Ähnlicheilvergleich	90
Bild 6.29 : Zeitkalkulation mit Mittelwertvergleich	91
Bild 6.30 : Einflussfaktoren der untersuchten Laufräder auf die Zeitkalkulation	92
Bild 6.31 : Auswertung der Zeitkalkulation für die Maschinenformerei aus Arbeitsplänen der Referenzgießerei.....	95
Bild 6.32 : Auswertung der Formzeiten für die Handformerei aus Arbeitsplänen der Referenzgießerei.....	96
Bild 6.33 : Formzeiten in Abhängigkeit vom Formstoffvolumen (errechnete Kastengrößen)	97
Bild 6.34 : Kernformzeiten in Abhängigkeit von der Rohteilmasse.....	98
Bild 6.35 : Ausleerzeiten in Abhängigkeit vom Formstoffvolumen	100
Bild 9.1 : Zeitklassen-Katalog für Kernmacherei [94]	I
Bild 9.2 : Formenordnung für Schmiedeteile [82].....	III
Bild 9.3 : Grobstruktur eines Klassifikationssystems für maschinenbautypische Teile (exemplarisch) [34]	IV
Bild 9.4 : Formenordnung für Kokillen- und Druckgussteile [105]	V
Bild 9.5 : Systematik der Teileklassifizierung [106]	VI
Bild 9.6 : Vorkalkulation nach Pacyna [11]	VII
Bild 9.7 : Untersuchungsfeld – Gießerei / Formverfahren (Auszug)	IX
Bild 9.8 : Untersuchungsfeld – Gussteile (Auszug)	IX
Bild 9.9 : Untersuchungsfeld – Angebotserarbeitung (Auszug)	IX
Bild 9.10 : Rationalisierungsbedarf in Gießereien nach [108]	X
Bild 9.11 : Funktionen von Arbeitsvorbereitungsabteilungen von Gießereien (Analyse in 14 Unternehmen) [109]	X
Bild 9.12 : Instrument zur Vorgangsanalyse nach [110]	XI
Bild 9.13 : Schnittstelle Mensch und Maschine – Software als Werkzeug [111]	XI
Bild 9.14 : Beispiel: Teilestammliste aus verwendetem PPS-System	XV
Bild 9.15 : Technologiescher Ablauf zur Gussteilherstellung und PPS-Datenerfassung	XVI
Bild 9.16 : Vorgehensweise zur Bildung von Komplexeilen [34]	XXI
Bild 9.17 : Arbeitsschritte der folgerichtigen Fertigungsplanung [34]	XXII
Bild 9.18 : Inhalt der Grob- und Feinplanung von Fertigungsprozessen [34]	XXIII
Bild 9.19 : Automatisierungsstufen der Arbeitsplanerstellung für unterschiedliche Planungsarten [34]	XXIII
Bild 9.20 : Allgemeine Struktur der Angebotskalkulation [10]	XXIV
Bild 9.21 : Einflüsse auf den Gussteilpreis [106]	XXV

8.3 Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 2.1 : Vergleich gießereispezifischer Software-Tools nach [04]	13
Tabelle 2.2 : Prüfung der Anfrageunterlagen auf Vollständigkeit nach [22].....	16
Tabelle 2.3 : Vergleich zum Einsatz unterschiedlicher Methoden und Hilfsmittel in der Arbeitsvorbereitung	19
Tabelle 3.1 : Gegenüberstellung der Vorgänge der Geometrie- und Stoffänderung in Abhängigkeit vom Fertigungsverfahren [53].....	27
Tabelle 3.2 : Merkmale und Nummerungsschlüssel am Beispiel einer Reibscheibe [36]	36
Tabelle 3.3 : Erweiterter Nummerungsschlüssel für Formelemente am Gussteil (Beispiel Reibscheibe) [36]	36
Tabelle 3.4 : Beispielhaftes Formular für eine Sachmerkmal-Leiste von Kolben [36]	38
Tabelle 3.5 : Datenmatrix als Voraussetzung der Bildung von Clustern für 6 beispielhafte prismatische Gussteile (A - F) [36]	40
Tabelle 3.6 : Dreiecksmatrix für das gewählte Beispiel [36]	40
Tabelle 3.7 : Vergleichende Übersicht zu Klassifikationsverfahren (erweitert nach [36])	48
Tabelle 3.8 : Bewertung progressiver Klassifikationsverfahren bezüglich einer geometrieorientierten Ähnlichkeitsuche für Gussteile (erweitert nach [36])	49
Tabelle 3.9 : Vergleich spezifischer Klassifikationsverfahren für Gussteile [36]	50
Tabelle 3.10 : Vergleich der Technologie geometrisch ähnlicher Schneckenräder [83]	52
Tabelle 3.11 : Vergleich Klassifikationsverfahren und erfasste Merkmale	55
Tabelle 6.1 : Datenübersicht für ausgewählte Untersuchungsteile	73
Tabelle 6.2 : Ordnungsmerkmale für Referenzteile nach Czikel.....	78
Tabelle 6.3 : Ordnungsmerkmale und Klassifikation für Referenzteile nach Pazyna	78
Tabelle 6.4 : Ansatz zur Ermittlung der Formzeiten für Laufräder	97
Tabelle 6.5 : Schwierigkeitsgrade bei der Kernherstellung	98
Tabelle 6.6 : Ansatz zur Ermittlung der Kernformzeiten für Laufräder	99
Tabelle 6.7 : Ansatz zur Ermittlung der Ausleerzeiten für Laufräder	100
Tabelle 6.8 : Ansatz zur Ermittlung der Putzzeiten für Laufräder	101
Tabelle 6.9 : Anwendung des mathematischen Modells zur Zeitkalkulation für Laufräder	103
Tabelle 6.10 : Mittelwertbildung als Basis für eine Zeitkalkulation für Laufräder.....	104
Tabelle 6.11 : Anwendung der Zeitkalkulation auf Referenzteile B – F.....	104
Tabelle 9.1 : Vergleich Gießen in verlorenen Formen und in Dauerformen [101] - [104]	II
Tabelle 9.2 : Bewertung von Suchsystemen zur Informationsfindung [107]	VIII
Tabelle 9.3 : Benutzerabhängige Ansprüche an Software [109]	XI
Tabelle 9.4 : Charakteristika an der Befragung teilgenommenen Gießereien	XIII
Tabelle 9.5 : Gegenüberstellung berechnete Zeitwerte und Zeitwerte aus den Arbeitsplänen der Gießerei	XIX

8.4 Anlagenverzeichnis

	Seite
Anlage 1 : Zeitkatalog für Kernmacherei	I
Anlage 2 : Vergleichende Betrachtung zwischen Sandguss und Druckguss	II
Anlage 3 : Formenordnung und Klassifikationen	III
Anlage 4 : Vorkalkulation nach Pacyna	VII
Anlage 5 : Bewertung von Suchsystemen zur Informationsfindung	VIII
Anlage 6 : Eingrenzungen des Untersuchungsfeldes	IX
Anlage 7 : Bedeutung Rationalisierung der Angebotserarbeitung in Gießereien	X
Anlage 8 : Gestaltungsmerkmale für eine hohe Akzeptanz von Software-Entwicklungen	XI
Anlage 9 : Fragebogen zur Angebotsbearbeitung	XII
Anlage 10 : Auswertung zur Befragung zur Angebotsbearbeitung	XIV
Anlage 11 : Beispiel für Teilestammliste aus PPS-System	XV
Anlage 12 : Technologischer Ablauf zur Gussteilherstellung und PPS-Datenerfassung	XVI
Anlage 13 : Berechnung der Ordnungsmerkmale für Referenzteile nach Czikel und Pacyna	XVII
Anlage 14 : Gegenüberstellung berechnete Zeitwerte und der Zeitkalkulation aus Arbeitsplänen der Gießerei	XIX
Anlage 15 : Beispielrechnung zur Zeitkalkulation für Teil F	XX
Anlage 16 : Bildung von Komplexteilen als Basis zur rationalen Generierung von Arbeitsplänen	XXI
Anlage 17 : Struktur und Inhalte der Fertigungsplanung	XXII
Anlage 18 : Allgemeine Struktur zur Angebotskalkulation	XXIV
Anlage 19 : Einflüsse auf den Gussteilpreis	XXV

8.5 Begriffsbestimmung

ADI-Gusswerkstoffe

- ADI = Austempered Ductile Iron = Wärmebehandeltes Gusseisen mit Kugelgraphit
- Sie zeichnen sich durch zwei herausragende Eigenschaften aus:
 - große Dehnung mit hoher Zugfestigkeit
 - besondere Verschleißbeständigkeit für extreme Anwendungen

[95]

Angebot

- ein Dokument, welches alle Informationen enthält, die ein Kunde benötigt, um eine Entscheidung über die Auftragserteilung zur einem angefragten Gussteil zu treffen

[10]

Auswahlstrategie – Single Linkage

- Ermittlung des minimalen Abstandes zweier Elemente aus zwei Clustern

Auswahlstrategie – Complete Linkage

- Ermittlung des maximalen Abstandes zweier Elemente aus zwei Clustern

Auswahlstrategie – Average Linkage

- Ermittlung des durchschnittlichen Abstandes zweier Elemente aus zwei Clustern

[37]

BDE = Betriebsdatenerfassung:

- System, das Personal-, Zeiterfassungs- und Maschinendaten registriert und verwaltet.

[96]

CAD = Computer Aided Design = Computergestütztes Konstruieren

- eine Software, die von Ingenieuren, Konstrukteuren, Technischen Zeichnern, oder Architekten eingesetzt wird, um technische Zeichnungen und Konstruktionen zu erzeugen.

[96]

Clusteranalyse

- Verwendung verschiedener multivariater Verfahren der Datenanalyse für die Ermittlung von Gruppen (Cluster) zusammengehöriger Objekte aus einer Grundmenge von numerisch beschriebenen Objekten
- die Objekte können beispielsweise Datensätze von Messwerten oder Bildpunkte sein, in denen geordnete Ansammlungen oder Hierarchien gefunden werden sollen
- Verfahren der Clusteranalyse lassen sich zur automatischen Klassifikation, zur Erkennung von Mustern in der Bildverarbeitung und zum Data-Mining einsetzen.

[37]

Data-Mining-Methode

- Data-Mining stammt ursprünglich aus dem Bereich der Statistik und kennzeichnet dort die selektive Methodenanwendung zur Bestätigung vorformulierter Hypothesen
- Erforschung und Analyse großer Datenmengen mit automatischen oder halbautomatischen Werkzeugen, um bedeutungsvolle Muster und Regeln aufzufinden

[97]

ERP-System

- ERP = Enterprise Resource Planning = Planung der Unternehmensressourcen
- bezeichnet die unternehmerische Aufgabe, die in einem Unternehmen vorhandenen Ressourcen (Kapital, Betriebsmittel oder Personal) möglichst effizient für den betrieblichen Ablauf einzusetzen

[96]

Feature

- der Begriff "Feature" ist nach VDI-Richtlinie 2218 definiert
- Features sind informationstechnische Elemente, die Bereiche von einzelnen oder mehreren Produkten repräsentieren.
- Zusammenfassung von Geometrieelementen, wobei diese Geometrieelemente eine "Semantik" besitzen können.
- Sie stellen produktbezogene Methoden zur Modellierung zur Verfügung.

[98]

FEM-Programme

- FEM = Finite-Elemente-Methode
- ist ein numerisches Verfahren zur näherungsweisen Lösung,
- ein weit verbreitetes modernes Berechnungsverfahren im Ingenieurwesen.

[37]

Fourierreihe

- nach Jean Baptiste Joseph Fourier
- Entwicklung einer abschnittsweise stetigen und monotonen, periodischen Funktion $f(x)$ in eine Funktionenreihe aus Sinus- und Kosinusfunktionen.

[37]

Fuzzy-Logik

- Bezeichnung für alle Methoden, die sich mit der Modellierung von Daten und Regeln befassen

[68]

Just-in-time-Fertigung

- eine Fertigung und Anlieferung der benötigten Teile und in zunehmenden Maße auch von Baugruppen in auftragsbezogenen Mengen in einer „Null-Fehler-Qualität“,
- kostspielige Zwischenlager werden vermieden, die Teile gelangen direkt vom Produktionsbetrieb an die Montagebänder.

[23]

MRM = Multi Resource Management®:

- MRM® plant, steuert und erfasst vollständig Prozessketten des Unternehmens im Umfeld der wertschöpfenden Ressourcen Personal, Material, Maschinen, Betriebsmittel und stellt somit ein vollständiges Supply Chain Execution System mit integriertem Ressourcen Management dar.

[96]

MTZ / MTA

- MTZ – Metall-Teuerungs-Zuschlag, MTA – Metall-Teuerungs- Abschlag
- MTZ und MTA ergeben sich aus Blockpreisdifferenz des Metallpreises und einem Zuschlag für metallabhängige Kosten (Rohgewicht zuzüglich Angüsse, Steiger, Trichter und Ausschuss). Dazu werden in der Regel metallabhängige Prozentsätze verwendet, die jedoch im Einzelfall zu prüfen und abzuändern sind.

[29]

PPS-System

- PPS = Produktionsplanungs- und steuerungssystem
- das Fertigungs-Modul eines ERP-Systemes oder eigenständige Softwarelösung für die Unterstützung der Fertigungsorganisation.

[96]

Speisereingussverfahren (Speisereinguss)

- Gießverfahren bei dem der Eingusstrichter nach beendiger Formfüllung als Speiser wirkt.

[99]

STL-Dateiformat

- STL = Stereolithographie
- Daten-Austauschformat verschiedener CAD-Programme untereinander und als Export für CNC-Fertigung oder Rapid Prototyping

[37]

Workflow

- eine definierte Menge von Aufgaben, die von verschiedenen Mitarbeitern ausgeführt werden

[10]

Rationelle Angebotserarbeitung in der Gießerei unter Beachtung technologischer Ähnlichkeit

Anlagen zur Dissertation

Anlage 1

Zeitklassenkatalog für die Kernmacherei

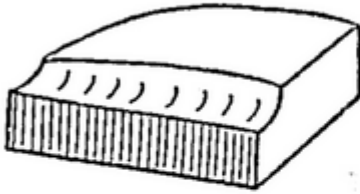
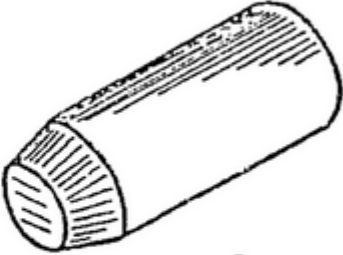
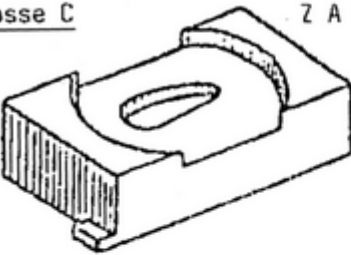
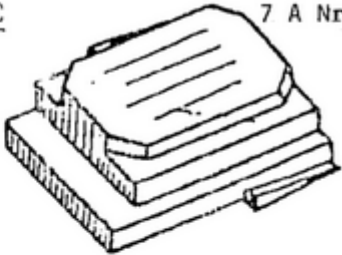
Grundlage: Zeitaufnahmen			
<p><u>Zeitklasse A</u> Z A Nr. 304</p>  <p>Kernsandvolumen = 7 dm³ Kernbüchsentteile = 1 Kernoberfläche = glatt a) Grundzeit t_g = 6,80 min.</p>	<p><u>Zeitklasse B</u> Z A Nr. 305</p>  <p>Kernsandvolumen = 16 dm³ Kernbüchsentteile = 2 Kernoberfläche = glatt a) Grundzeit t_g = 13,10 min.</p>		
<p><u>Zeitklasse C</u> Z A Nr. 306</p>  <p>Kernsandvolumen = 41,5 dm³ Kernbüchsentteile = 2 Kernoberfläche = b) 4x Grundzeit t_g = 24,50 min.</p>	<p><u>Zeitklasse C</u> Z A Nr. 307</p>  <p>Kernsandvolumen = 28 dm³ Kernbüchsentteile = 3 Kernoberfläche = c) 6x Grundzeit t_g = 23,00 min.</p>		

Bild 9.1 Auszug aus dem Zeitkatalog für die Kernmacherei [100]

Anlage 2

Vergleichende Betrachtung zwischen Sandguss und Druckguss

	Sandguss	Druckguss
Form	Verlorene Form, Natursande, synthetischer Sand auch mit Kunstharzbinder, CO ₂ -Sand, Zementsand	Dauerform, hochfeste Warmarbeitsstähle oder Sonderwerkstoffe
Eingesetzte Werkstoffe	Alle gießbaren Metalle und Legierungen	Legierungen auf Al-, Mg-, Zn-, Cu-, Sn- und Pb-Basis
Gewichtsbereiche	Transportgrenze und Schmelzkapazität bilden die obere Gewichtsgrenze	Al-Leg. bis 45 kg, Zn-Leg. bis 20 kg, Mg-Leg. bis 15 kg, Cu-Leg. bis 5 kg (Begrenzt durch Größe der Druckgießmaschine)
Dauerformgröße/ Formkastengröße	Für Stampfen keine Begrenzung	Max. 1000 x 800
Mengenbereich	In Abhängigkeit vom Formverfahren, von Einzelfertigung bis großen Serien	Serienfertigung nach Haltbarkeit der Form : Zn ca. 500.000, Mg ca. 100.000, Al ca. 80.000, Cu ca. 10.000 Abgüsse
Wirtschaftlichkeit	Schon ab 1 Stück möglich (Vollformverfahren)	Ab 500 Stück
Toleranzbereich	In Abhängigkeit vom Formverfahren 0,3 ... 5 %	0,1...0,4 %
Erreichbare Oberflächenrauheit	40 ... 320 µm	10... 40 µm
Druckbereich	Schwerkraft	10 ... 200 MPa
Formfüllung	Abhängig von Formvolumen	0,0002 ... 0,2 Sekunden
Produktivität	Abhängig von Formvolumen, Schmelzkapazität, jedoch deutlich geringer	Bis zu 1000 Abgüsse/Stunde (bei G-Zn)
Minimale Wanddicke	Je nach Werkstoff und Größe des Gussstückes 3 ... 18 mm	Je nach Werkstoff und Flächengröße 1,0 ... 4,5 mm
Konturen	Durch Verwendung verlorener Kerne sind die Innenkonturen vielfältiger.	Einsprünge Aussparungen und Hohlräume müssen sich durch das Ziehen massiver, unzerstörbarer Kerne abbilden lassen
Formteilung	Formaufbau aus mehreren Formteilen möglich (maßgebend dabei ist die Möglichkeit das Modell ziehen zu können)	Einfache Formteilung (stets zwei Formhälften: Eingussformhälfte, Auswerfformhälfte)
Bearbeitungszugaben	Formschrägen, Schwindmaß, Zugaben für die mechanische Bearbeitung bei Anforderungen an Oberflächengüte.	Bis auf Schwindmaß (abhängig von der Gestalt des Gussstückes und vom Werkstoff) keine Bearbeitungszugaben

Tabelle 9.1 : Vergleich Gießen in verlorenen Formen (Sandgussverfahren) und in Dauerformen (Druckgussverfahren)

[101] - [104]

Anlage 3

Formenordnung und Klassifikationen

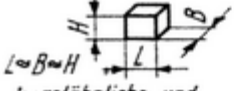
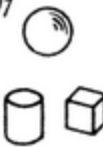




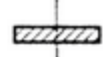
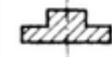
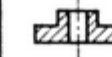
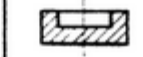
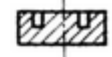
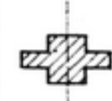
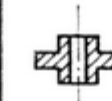
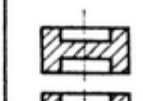
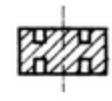
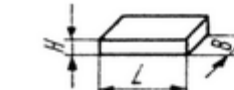
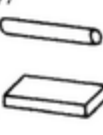
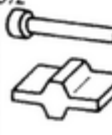

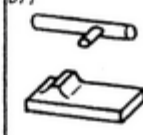




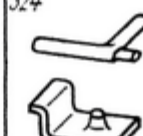




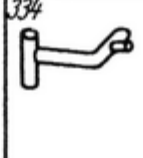

Formen- klasse	Formen- gruppe	Untergruppe				
		1 ohne Neben- formelemente	2 mit einseitigen Nebenform- elementen	3 mit umlaufen- den Nebenform- elementen	4 mit einseitigen und umlaufen- den Nebenform- elementen	—
1 Gedrungene Form  kugelähnliche und würfelartige Teile	0 entfällt	101 	102 	103 	104 	—
		ohne Neben- formelemente	mit Nabe	mit Nabe und Loch	mit Rand (Ringe)	mit Rand und Nabe
2 Flache Form  Teile mit runden, quadra- tischen und ähnlichen Um- rissen, Kreuzteile mit kur- zen Armen, gestauchte Köpfe an Langformen (Flansche, Ventilteller usw.)	1 flache Form mit einseitigen Neben- formelementen	211 	212 	213 	214 	215 
	2 flache Form mit zweiseitigen Neben- formelementen	—	222 	223 	224 	225 
		ohne Neben- formelemente	mitsymmetrisch zur Achse des Hauptformele- ments liegenden Nebenformele- menten	mit offenen oder geschlos- senen Gabe- lungen	mit unsymmetrisch z. Achse des Haupt- formelements liegenden Neben- formelementen	mit zwei oder mehr verschie- denen Neben- formelementen ähnlicher Größe
3 lange Form  Teile mit ausgeprägter Längsachse	1 Längsachse des Hauptformele- ments gerade	311 	312 	313 	314 	315 
	2 Längsachse des Hauptformele- ments in einer Ebene gekrümmt	321 	322 	323 	324 	325 
	3 Längsachse des Hauptformele- ments in mehreren Ebe- nen gekrümmt	331 	332 	333 	334 	335 

Bild 9.2 Formenordnung für Schmiedeteile [82]

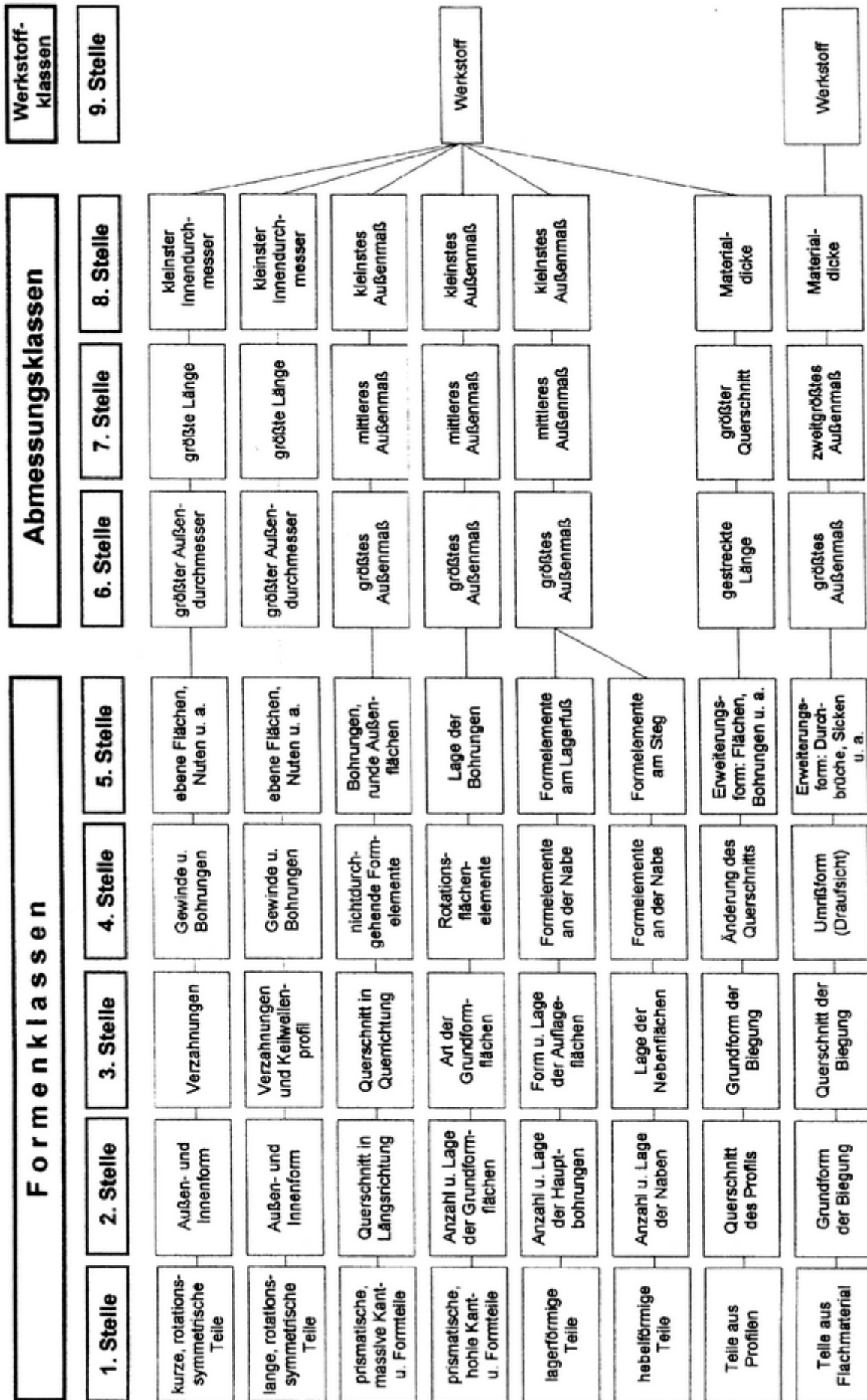


Bild 9.4 Grobstruktur eines Klassifikationssystems für maschinenbautypische Teile (exemplarisch) [34]

Teilesippe ↓	SCHWIERIGKEIT									
	0 sehr einfach	1 einfach	2 normal	3 schwierig	4 sehr schwierig	5 sehr einfach	6 einfach	7 normal	8 schwierig	9 sehr schwierig
0 Block										
1 Barren										
2 Platte										
3 Winkel										
4 Rahmen										
5 Ring , Rad										
6 Rohre										
7 Zylinder										
8 Kasten überwiegend glattwandig										
9 Gehäuse überwiegend gekrümmtw										
	mach	flatt	gehoblen	prechteligg	eckenigg	ringertig	gerade	eckenigg	flach	flach
	durchbohren	gefräst	durchbohren	mehrfachbohrig	doppeltbohrig	radialig	geradlinig	doppeltbohrig	flatt	flatt

Bild 9.3 Formenordnung für Kokillen- und Druckgussteile [105]

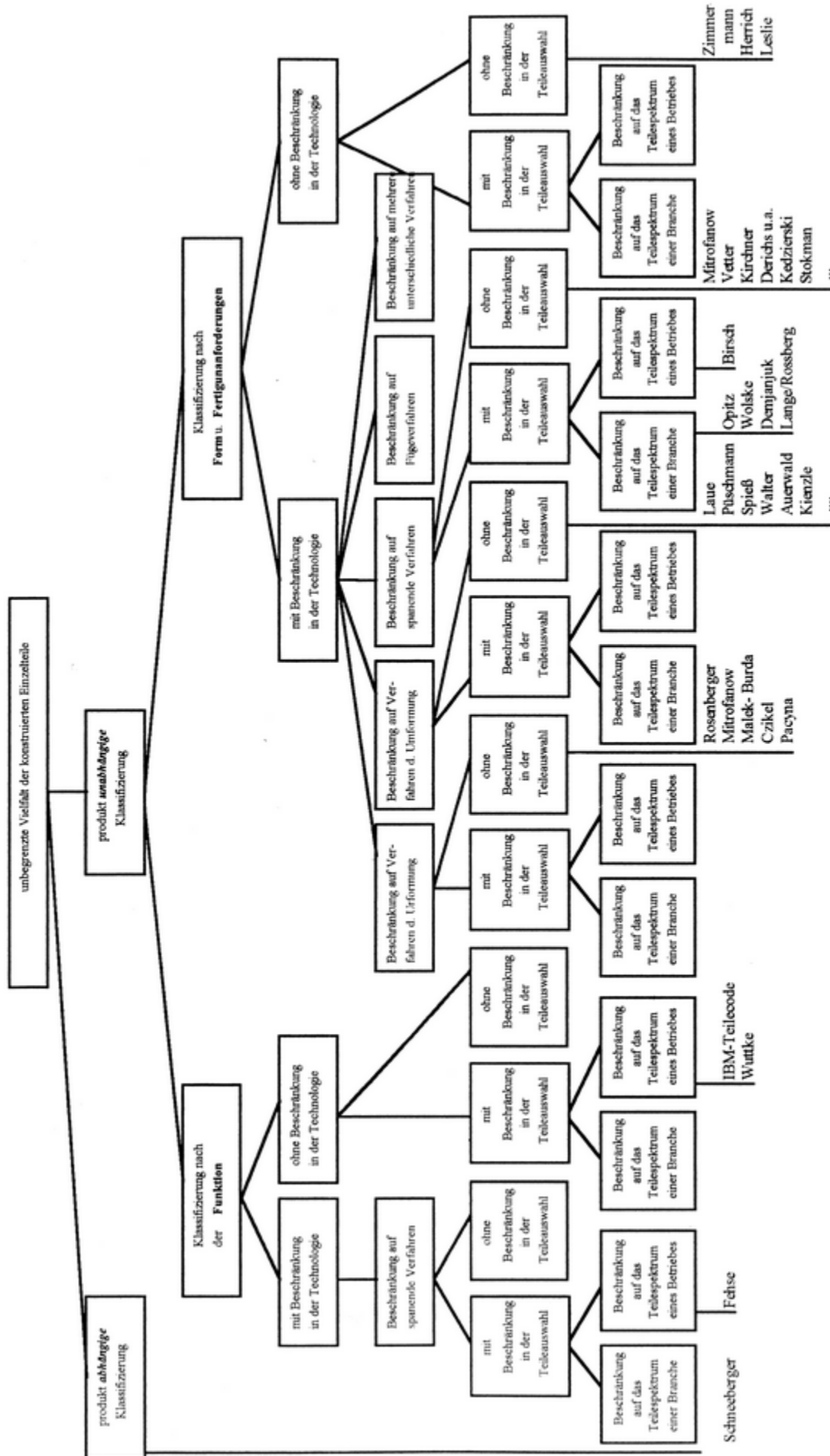


Bild 9.5 Systematik der Teileklassifizierung [106]

Anlage 5

Bewertung von Suchsystemen zur Informationsfindung

Prinzip Kriterien	Nummerung	Sachmerkmals- eiste	Clusteranalyse	Fourieranalyse	Thesaurus	Gruppentechnologi e
Funktion	+	+	+	-	+	+
Gestalt/ Geometrie	(+)	+	+	++	(+)	+
Technologie	+	(+)	(+)-	-	+	+
Organisation	+	-	-	-	+	+
Suchmerkmals- kombination	fix	wahlfrei fest	wahlfrei fest	Geometrie	wahlfrei	wahlfrei fest
Flexibilität	-	++	++	+	++	+
Abbildbarkeit auf EDV	+	+	+	+	+	+
Mehraufwand	hoch	mittel	mittel	nein	gering	mittel

+ geeignet, ++ sehr gut geeignet (+) bedingt geeignet - ungeeignet

Tabelle 9.2 Bewertung von Suchsystemen zur Informationsfindung [107]

Anlage 6

Eingrenzungen des Untersuchungsfeldes

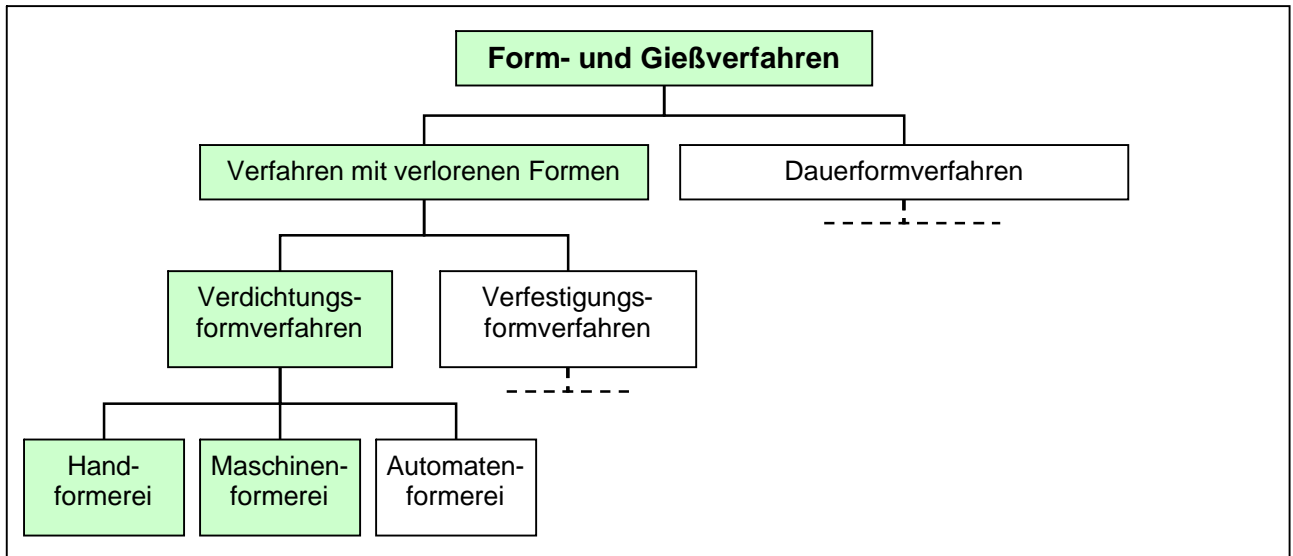


Bild 9.7 Untersuchungsfeld – Gießerei / Formverfahren (Auszug)

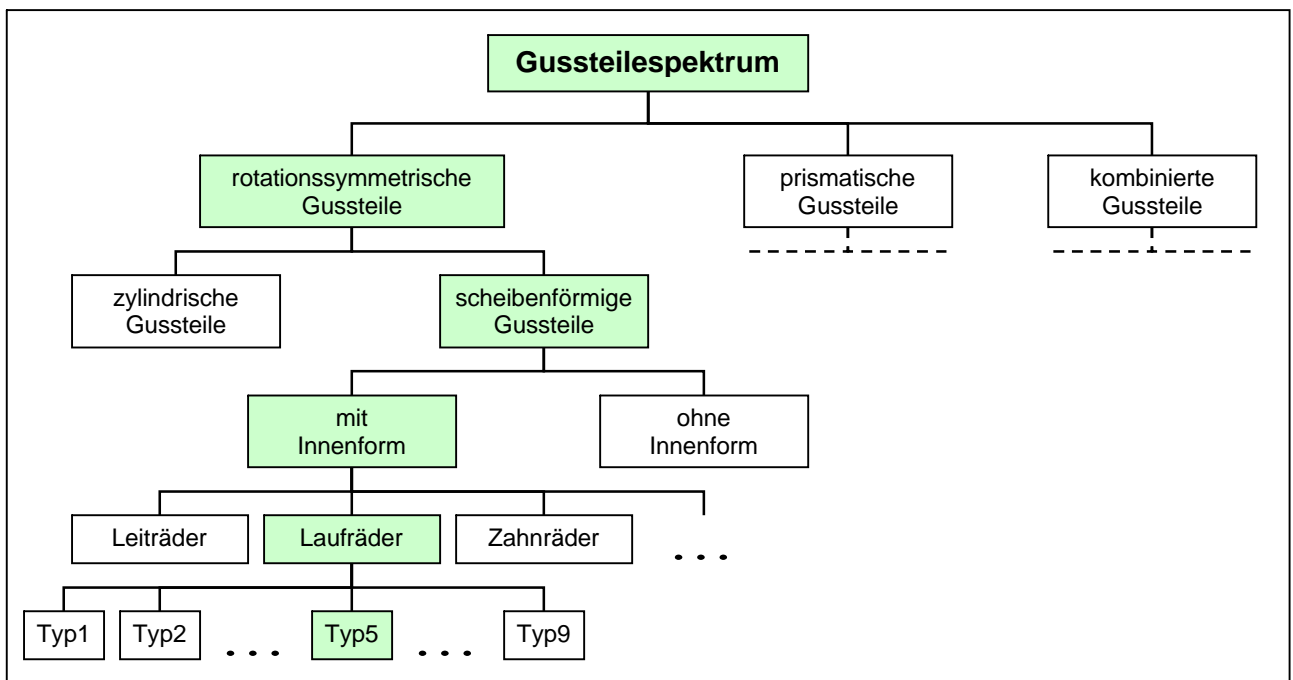


Bild 9.8 Untersuchungsfeld – Gussteile (Auszug)

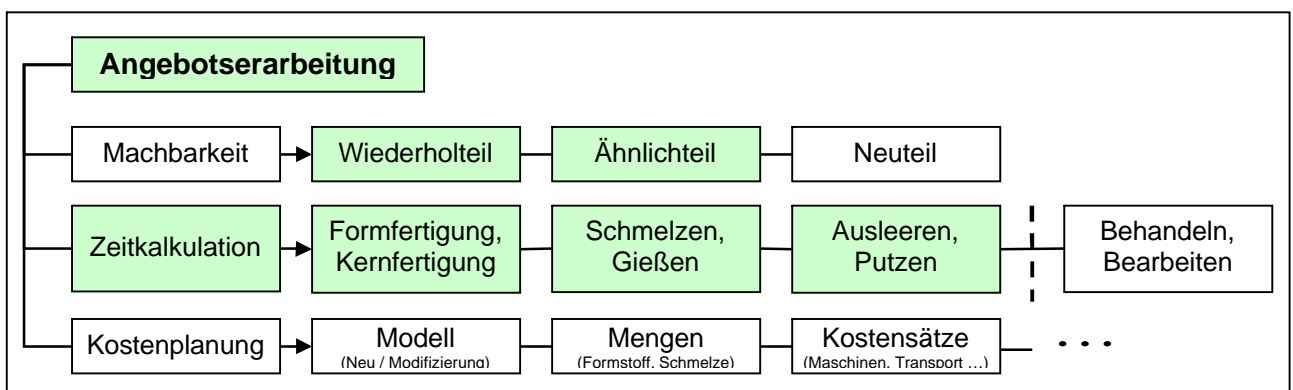


Bild 9.9 Untersuchungsfeld – Angebotserarbeitung (Auszug)

Anlage 7

Bedeutung der Rationalisierung der Angebotserarbeitung in Gießereien

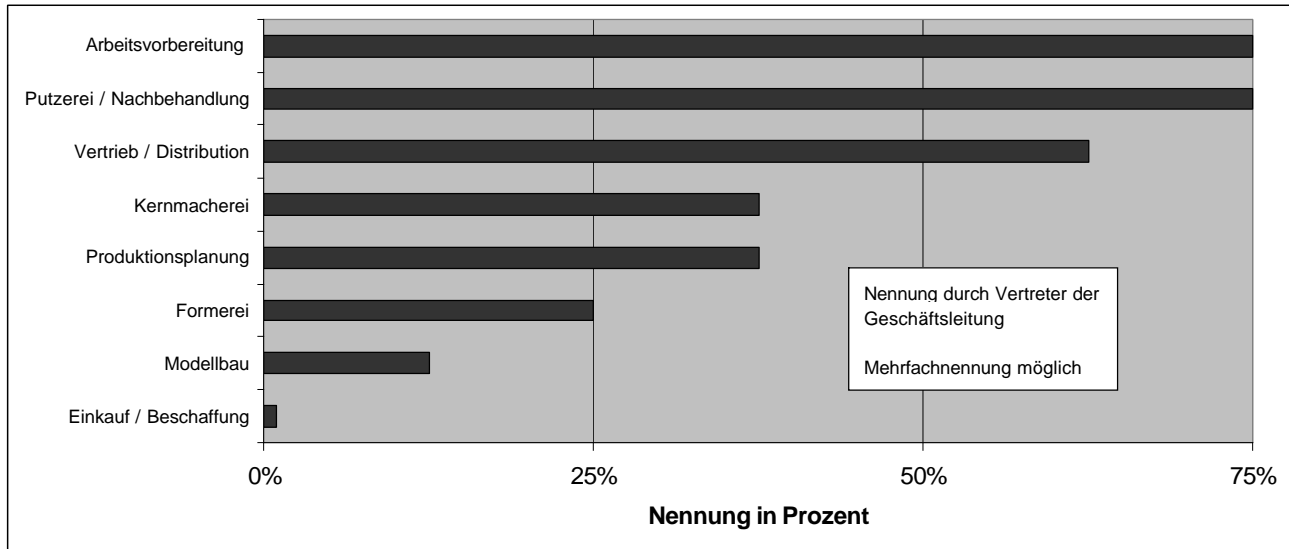


Bild 9.10 Rationalisierungsbedarf in Gießereien nach [108]

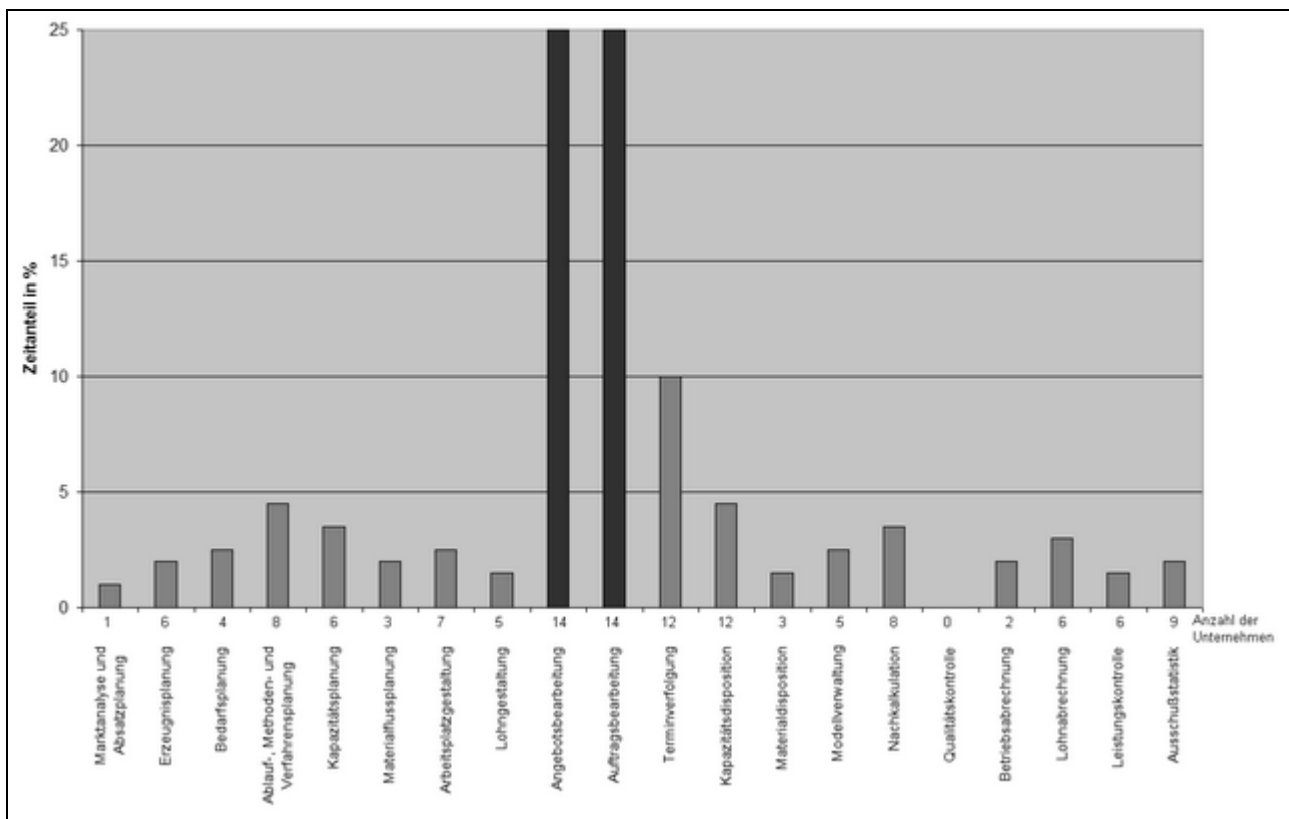


Bild 9.11 Funktionen der Arbeitsvorbereitungsabteilungen in Gießereien (Analyse in 14 Unternehmen) [109]

Anlage 8

Gestaltungsmerkmale für eine hohe Akzeptanz von Software-Entwicklungen

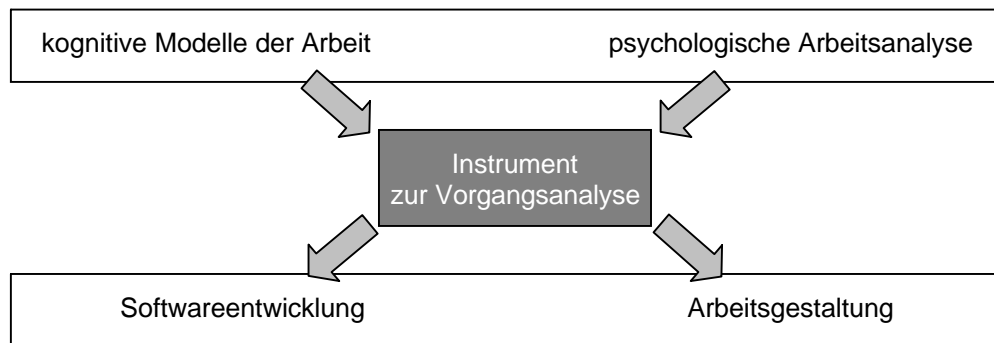


Bild 9.12 Instrument zur Vorgangsanalyse nach [110]

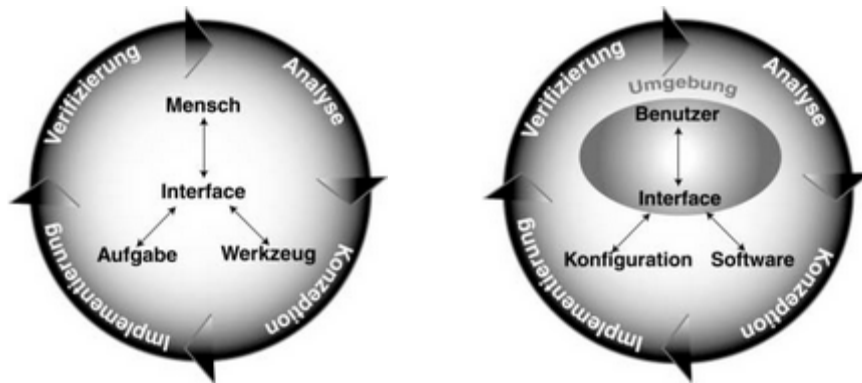


Bild 9.13 Schnittstelle Mensch und Maschine – Software als Werkzeug [111]

Benutzer	Grundhaltung	Fragen	Bedarf	Motivation
Anfänger	Neugier	Worum geht es hier genau? Kann ich es gebrauchen? Wie funktioniert das?	Hilfe für den Einstieg, Motivation zur weiteren Beschäftigung mit dem Produkt, einen roten Faden, Guide Tour	Attraktives äußeres Erscheinungsbild, Köder zur Beschäftigung mit dem Produkt
Fortgeschrittene	Interesse	Wie ist das strukturiert? Ist das für mich interessant und nützlich? Was gibt es hier alles?	Klare Strukturen, Übersicht über die Bereiche des Produktes	Ansprechende Navigations- möglichkeiten, wertvolle relevante Informationen
Experte	gezieltes Suchen	Wo finde ich..? Wo gibt es wertvolle Informationen zum Thema...?	Suchinformationen Index	Schneller Zugriff auf das Gesuchte

Tabelle 9.3 Benutzerabhängige Ansprüche an Software [110]

Anlage 9

Fragebogen zur Angebotsbearbeitung

Welchen Unterlagen / Daten sind für Sie zwingend (z) bzw. würden Sie bevorzugt (b) nutzen (wenn sie zur Verfügung gestellt werden) für Ihre Angebotsbearbeitung?

- | | | |
|--|---|---|
| <input type="checkbox"/> (z) <input type="checkbox"/> (b) 3D-Daten | <input type="checkbox"/> (z) <input type="checkbox"/> (b) Zeichnung | |
| am häufigsten geliefert für | <input type="checkbox"/> Fertigteil | <input type="checkbox"/> Rohteil |
| | <input type="checkbox"/> Modelleinrichtung | |
| <input type="checkbox"/> (z) <input type="checkbox"/> (b) Gewicht | <input type="checkbox"/> (z) <input type="checkbox"/> (b) Werkstoff | <input type="checkbox"/> (z) <input type="checkbox"/> (b) Teilbeschreibung |
| <input type="checkbox"/> (z) <input type="checkbox"/> (b) Normen | <input type="checkbox"/> (z) <input type="checkbox"/> (b) Prüfvorschriften | <input type="checkbox"/> (z) <input type="checkbox"/> (b) Oberflächengüte |
| <input type="checkbox"/> (z) <input type="checkbox"/> (b) Stückzahl | <input type="checkbox"/> (z) <input type="checkbox"/> (b) Losgrößen | <input type="checkbox"/> (z) <input type="checkbox"/> (b) Wunschtermin |

Reichten Ihnen die vom Kunden übermittelten Daten i.d.R. für die Erstellung eines Angebotes aus?

- Ja**, ausreichend
- Nein**, meist Rückfragen nötig
- durchschn. **Anzahl** der Rückfragen: ____
- häufige **Inhalte** der Rückfragen: _____
- _____

Welche Hilfsmittel setzten Sie zur Angebotsbearbeitung immer (i) bzw. gelegentlich (g) ein?

- (i) (g) **PC / Software**, wenn JA, welche (Version)?: _____
- (i) (g) **Checklisten**, wenn JA, auf welcher Basis?: _____
- (i) (g) **Kalkulationen durch Ähnlichteile**
- Angebote von Subunternehmen**, wenn JA, wofür?: _____
- Andere Hilfsmittel** z.B. Simulationssoftware Modulberechnung
- Weitere: _____

Wie detailliert ist die Ähnlichteilplanung / -kalkulation?

Wie erfolgt die Prüfung, ob eine Ähnlichteilbetrachtung in Frage kommt?

- Ausschließlich durch **Wissen / Erfahrung des Arbeitsvorbereiters** (Erinnerungsvermögen)
- Unter **Verwendung von Software** (Suchalgorithmen / Klassifikationen)

Wie werden die Ähnlichteile gefunden? Suche nach:

- Teilenummer** **Bezeichnung** **Gewicht** **Kundenummer** **sonstige**: _____

Gibt es Kalkulationen (Standardkalkulationen) für Teilefamilie? **JA** **NEIN**

Wenn JA, wie viele **Teilefamilien** sind es? _____

Aufwand

Schätzen Sie Ihre durchschn. betriebsinterne **Arbeitszeit** zur Bearbeitung der Anfrage: (von-bis) _____

Erfolgt die **Angebotsbearbeitung arbeitsteilig** durch mehrere Mitarbeiter? **JA** **NEIN**

Wenn JA, wer / welche **Abteilung(en)** sind beteiligt? _____

Welche Aufgabe ist bei der Angebotsbearbeitung am zeitintensivsten (wenn für die Anfrage zutreffend)?

- Rohteilgenerierung Modellfestlegung Kerne Gewichtsbestimmungen (Rohteil-/Flüssiggewicht)
- Speiserfestlegung Anschnittsystem Putzen Verfahrenswahl Arbeitsplanerstellung
- sonst: _____

Allgemein

Werden alle Kalkulationsinhalte als **Neuteil** **einggegeben** oder werden die Eingaben durch **Editieren** einer bereits **vorhandenen** **Kalkulation** bearbeitet?

Erfolgen die Eingaben in der Regel vollständig nach Vorgaben des Programms? **JA** **NEIN**

Wenn NEIN, welche **Art** sind nicht eingegebene Daten? _____

Unterschieden Sie in der Angebotsbearbeitung nach:

- Kontaktangebot** **Richtangebot** **Festangebot** **keines davon**

Unterscheidet sich Ihr Angebot der Bearbeitung von Anfragen detailliert (**d**) bzw. weniger detailliert (**wd**) für:

- (d) (wd) **Neukunde** (d) (wd) **bekannter Kunde** (d) (wd) **fester Kunde**

- keine Unterschiede**

Welche Stückzahlen: (von-bis)_____ Losgrößen: (von-bis)_____ werden i.d.R angefragt?

Speziell für Laufräder: (von-bis)_____ (von-bis)_____

Werkstoffabhängige Angebote

Erfolgt die Anfrage für ein Gussteil für einen Werkstoff oder für mehrere Werkstoffe?

- häufig** **eher selten**

Wie wirkt sich eine Anfrage identische Teile für unterschiedliche Werkstoffe auf die Modelleinrichtung aus?

- meist gleiches Modell** **meist verschiedene Modelle** **ausgewogen /teilabhängig**

Welche Details im Angebot sind hierbei anzupassen, sofern nur ein Modell für verschiedene Werkstoffe verwendet werden soll?

- Anschnitt** **Speiser** **Schwindmaße** **Materialkosten** **Gewicht** **Bearbeitung**

Wie werden möglich Modellanpassungen von einem zum anderen Werkstoff bei der Kalkulation berücksichtigt?

Welche Informationen erhält Ihr Kunde im abgegebenen Angebot?

- Wiederholung / zusammengefasste **Teilebeschreibung** (lt. Anfrage)
- Preis je Stück** **Staffelpreise** für unterschiedliche Losgrößen
- Preisverbindlichkeitszusage** mit **Fristangabe**
- Lieferzeiten** für Losgrößen
- eine **Fertigungsbeschreibung**

Welche Gründe führen zur Absage von Anfragen seitens der Gießerei

- gießereitechnisch nicht realisierbar** **Kapazitätsauslastung** **Lieferfrist**
- Stückzahl/Losgröße** **Kastengröße / Gewicht** **Werkstoff**
- Qualitätsanforderung** **Preisvorgabe**

Gießerei	Charakteristika	Werkstoffe	Betriebsgröße	Abteilungen
A	Hand-/Maschinenformguss Klein- und Mittelserienfertigung	Gusseisen- und Kupferwerkstoffe	44 Mitarbeiter	Gießereileitung Arbeitsvorbereitung Qualitätskontrolle Vertrieb
B	Handformverfahren Klein- und Mittelserienfertigung	Gusseisen und Stahlguss	40 Mitarbeiter	Gießereileitung Modellbau Qualitätskontrolle Vertrieb
C	Strang-, Schleuder- und Sandformgussverfahren	Kupferwerkstoffe		Gießereileitung Modellbau Qualitätskontrolle Vertrieb

Tabelle 9.4 Charakteristika der an der Befragung teilgenommenen Gießereien

Anlage 10

Auswertung der Befragung zur AngebotsbearbeitungUnterlagen

3D-Daten	zwingend	<input type="text"/>	bevorzugt	<input type="text" value="2"/>	
Zeichnung	zwingend	<input type="text" value="2"/>	bevorzugt	<input type="text" value="1"/>	
Art der Daten	Fertigteil	<input type="text" value="1"/>	Rohteil	<input type="text" value="3"/>	Modell <input type="text" value="1"/>
Gewicht	zwingend	<input type="text" value="1"/>	bevorzugt	<input type="text" value="2"/>	
Werkstoff	zwingend	<input type="text" value="3"/>	bevorzugt	<input type="text"/>	
Teilbeschreibung	zwingend	<input type="text" value="2"/>	bevorzugt	<input type="text" value="1"/>	
Nomen	zwingend	<input type="text" value="1"/>	bevorzugt	<input type="text" value="2"/>	
Prüfvorschriften	zwingend	<input type="text" value="1"/>	bevorzugt	<input type="text" value="2"/>	
Oberflächengüte	zwingend	<input type="text" value="2"/>	bevorzugt	<input type="text" value="1"/>	
Stückzahl	zwingend	<input type="text" value="3"/>	bevorzugt	<input type="text"/>	
Losgrößen	zwingend	<input type="text" value="3"/>	bevorzugt	<input type="text"/>	
Wunschtermin	zwingend	<input type="text" value="2"/>	bevorzugt	<input type="text" value="1"/>	
ausreichende Infos	Ja	<input type="text" value="1"/>	Nein	<input type="text" value="2"/>	

Nachfragen

10 - 30 %

Inhalt der fehlenden Informationen

Gewichte, Werkstoff, Stückzahl, Normen

Hilfsmittel zur Angebotserarbeitung

Software	immer	<input type="text" value="3"/>	gelegentlich	<input type="text"/>
Checklisten	immer	<input type="text"/>	gelegentlich	<input type="text"/>
Ähnlichkeitvergleiche	immer	<input type="text" value="1"/>	gelegentlich	<input type="text" value="2"/>
AB von Subunternehmen	immer	<input type="text" value="3"/>	Für Modellbau, Bearbeitung (z.B. Glühen), Fertigteile	

Ähnlichkeitplanung

Basis der Suche	Erfahrung	<input type="text" value="3"/>	Software	<input type="text"/>
Suche nach ...	Teilenummer	<input type="text" value="2"/>	Bezeichnung	<input type="text"/>
	Gewicht	<input type="text" value="2"/>	Kundennummer	<input type="text" value="1"/>
Standardkalkulationen	Ja	<input type="text"/>	Nein	<input type="text" value="3"/>
Aufwand	0,25 - 1,5 h	<input type="text"/>	beteiligt: Verkauf, QS, Einkauf, Arbeitsvorbereitung	
Arbeitsteilung	Ja	<input type="text" value="3"/>	Modellfestlegung	<input type="text" value="1"/>
zeitintensivste Anteile	Rohteilgenerierung	<input type="text"/>	Speiserfestlegung	<input type="text"/>
	Gewichtsbestimmung	<input type="text" value="3"/>	Verfahrensauswahl	<input type="text" value="1"/>
	Arbeitsplanerstellung	<input type="text"/>	Keine	<input type="text" value="1"/>
			Anschnittsystem	<input type="text"/>
			Putzen	<input type="text" value="1"/>

Allgemein

Kalkulationsansatz	als Neuteil	<input type="text" value="2"/>	aus vorhandenen K	<input type="text" value="1"/>
vollständige Eingaben	Ja	<input type="text" value="2"/>	Nein	<input type="text" value="1"/>
Angebotsarten	Kontaktangebot	<input type="text"/>	Richtangebot	<input type="text"/>
	Festangebot	<input type="text" value="2"/>	keines davon	<input type="text" value="1"/>
Differenzierung nach Neukunde, bekannter Kunde, fester Kunde	Unterscheidung	<input type="text"/>	keine Untersch.	<input type="text" value="3"/>

Werkstoffabhängige Angebote

Teile in untersch. Wst.	häufig	<input type="text" value="1"/>	eher selten	<input type="text" value="2"/>
Modellverwendung meist	gleiches Modell	<input type="text" value="3"/>	verschiedene Mod.	<input type="text"/>
notwendige Anpassungen	Anschnitt	<input type="text" value="2"/>	Speiser	<input type="text" value="2"/>
	Materialkosten	<input type="text" value="3"/>	Gewicht	<input type="text" value="3"/>
Kalk. der Modellanpass.	über Angebote vom Modellbaubetrieb			
			ausgewogen	<input type="text"/>
			Schwindmaße	<input type="text" value="1"/>
			Bearbeitung	<input type="text" value="3"/>

Informationsgehalt des abgegebenen Angebotes

Wdh. Teilbeschr.	<input type="text"/>	Preis / Stk	<input type="text" value="2"/>	Preis / kg	<input type="text" value="1"/>
Staffelpreise	<input type="text" value="3"/>	Verbindlichkeit	<input type="text" value="2"/>	Fristangabe	<input type="text" value="1"/>
Lieferzeiten	<input type="text" value="3"/>	Fertigungsbeschr.	<input type="text"/>		

Gründe für Absage von Angeboten seitens der Gießerei

gtech. Nicht realis.	<input type="text" value="3"/>	Kapazitätsauslast.	<input type="text" value="1"/>	Lieferfrist	<input type="text" value="2"/>
Stückzahl/Losgr.	<input type="text" value="3"/>	Kastengr./Gewicht	<input type="text" value="3"/>	Werkstoff	<input type="text" value="3"/>
Qualitätsanforder.	<input type="text" value="2"/>	Preisvorgabe	<input type="text" value="2"/>		

Anlage 11

Beispiel: Teilestammliste aus PPS-System

Teilestammliste									
[REDACTED]									
Teile-Nr.	[REDACTED]	kalk. Gewicht	3,500 kg						
Modell-Nr.	[REDACTED]	Rohgewicht	3,500 kg						
Bezeichnung	Laufrad	Fertiggewicht	3,500 kg						
Zeichn.-Nr.		kalk. Los	0 St						
Werkstoff	G-CuSn10 (CC48OK) Gbz10	Vertreter/Prov.							
Ident-Nr.	[REDACTED]	angelegt/Erlöscto.	25.08.04 8000						
VK-Preis	1 [REDACTED] EUR/St								
Preisbasis	04/06								
Bearbeitung	1 St	16,80 EUR/St							
Rohgussarbeitsplan					Trennen/Putzen				
Kerne	2	St	Putzen 8,00 '/St						
Kreislauf	Leg.gr 2	0,00 kg/S	100,0%						
Formerei-Info	MF	9,00 '/Ka							
Klass.	Rüsten	0,00 /Los							
Gießtemp.	1150° Kasten	1 / 1	1 St/K						
	FoSandVol	42 l/St							
Ausleeren		2 '/Ka							
Ausschuss		0,00 %							
Kasten	430 x 350 L x B								
	120 x 0 x 160 UT/MT/OT								
Formtext									
3 mm Schnur auf Kern									
Sonderkosten [REDACTED] EUR/St									
Kernmacherei									
Nr	Anlage	Ke/Abg.	Ke/KK	'/Ke	'/Los	NZ/Ke	KeStoff	Sandart	
1	KCBS	1 / 1	1	6	0	0	0 kg		
2	KCBS	1 / 1	1	1	0	0	0 kg		
Modellverwaltung									
Basisteil	[REDACTED]	Modellpreis:	[REDACTED] EUR	2 St.Modellplatte(n) mit					
Eigentümer:	[REDACTED]	Amortisation:	[REDACTED] EUR	1 montierten Modelle(n) (nur für GBZ)					
Modell-Eingang	05.04.05	Modellerlös:	[REDACTED] EUR	1 Schaufel-KK,1 Naben-KK					
Modell-Ausgang	18.03.05	Modellkosten:	[REDACTED] EUR						
Modellstatus									
Modell-Anzahl	St 1								
Anzahl-Bauteile	St 3								
Nr.	Bauteil	BT-Nr.	Anzahl	Lagerort	Status	Status vom	Standzeit	Soll/Ist	Kurzinfo
0	Modell	Maschine	1	Lager 3/71		05.11.04	0 /	390	
1	KK		2	Lager 2/147		05.11.04	0 /	0	32075

Bild 9.14 Beispiel: Teilestammliste aus verwendetem PPS-System

Anlage 12

Technologischer Ablauf zur Gussteilherstellung und PPS-Datenerfassung

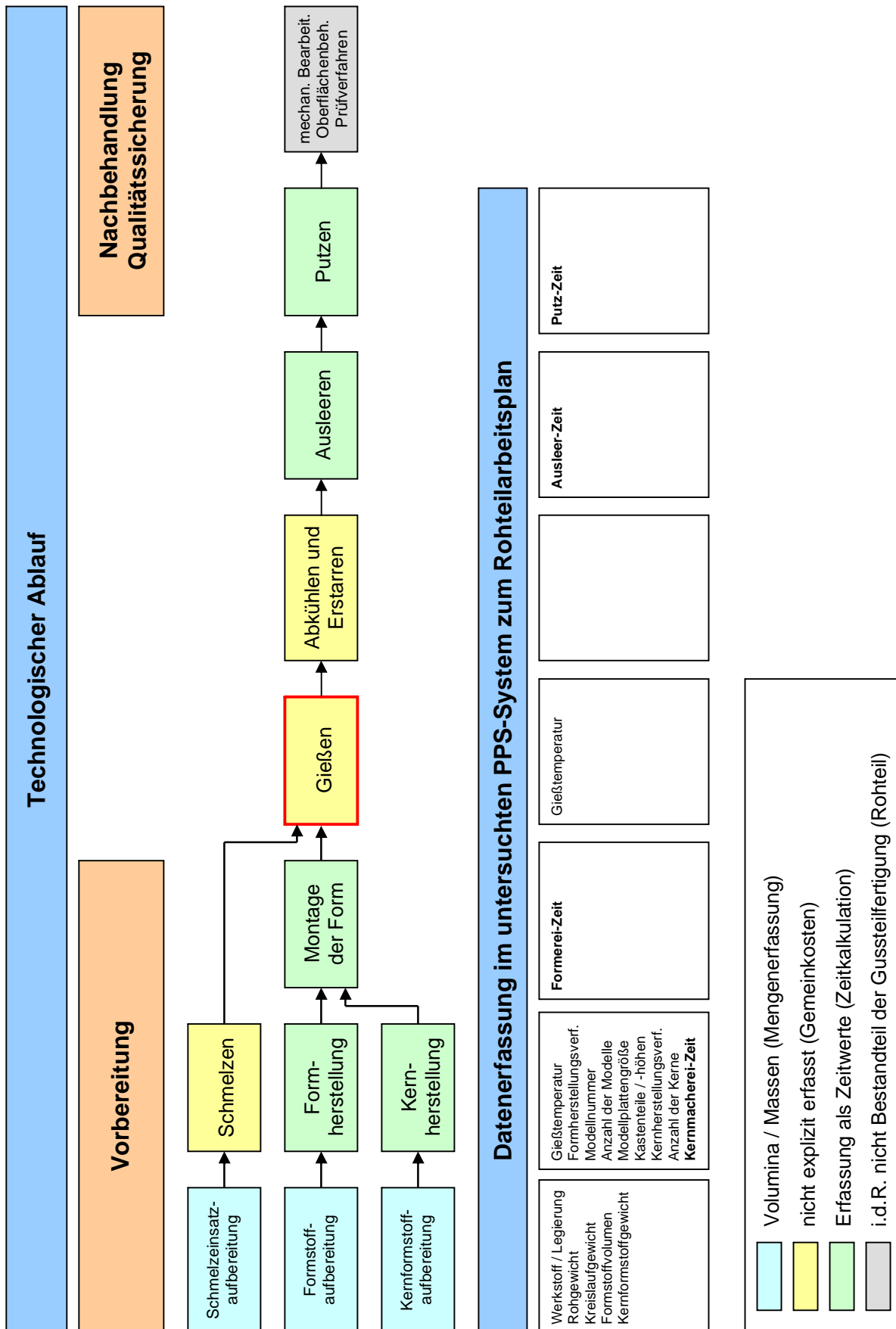


Bild 9.15 Technologischer Ablauf zur Gussteilherstellung und PPS-Datenerfassung

Anlage 13**Berechnung der Ordnungsmerkmale für Referenzteile nach Czikel und Pacyna:****Teil B**

$$\begin{aligned} V &= 0,31 \text{ dm}^3 \\ O &= 9,6 \text{ dm}^2 \\ V_K &= 0,16 \text{ dm}^3 \end{aligned}$$

Teil D

$$\begin{aligned} V &= 1,09 \text{ dm}^3 \\ O &= 26,4 \text{ dm}^2 \\ V_K &= 1,00 \text{ dm}^3 \end{aligned}$$

Teil F

$$\begin{aligned} V &= 6,11 \text{ dm}^3 \quad (\text{Gusstückvolumen}) \\ O &= 88,6 \text{ dm}^2 \quad (\text{Gusstückoberfläche}) \\ V_K &= 5,93 \text{ dm}^3 \quad (\text{Kernvolumen}) \end{aligned}$$

Berechnung der Proportionierung nach Czikel

$$s = \frac{V}{O} = \frac{0,31 \text{ dm}^3}{9,6 \text{ dm}^2}$$

$$s = 0,032 \text{ dm}$$

$$P_F = \frac{\sqrt[3]{V}}{6 \cdot s}$$

$$P_F = \frac{\sqrt[3]{0,31 \text{ dm}^3}}{6 \cdot 0,032 \text{ dm}}$$

$$\underline{\underline{P_F = 3,5}}$$

$$s = \frac{V}{O} = \frac{1,09 \text{ dm}^3}{26,4 \text{ dm}^2}$$

$$s = 0,041 \text{ dm}$$

$$P_F = \frac{\sqrt[3]{V}}{6 \cdot s}$$

$$P_F = \frac{\sqrt[3]{1,09 \text{ dm}^3}}{6 \cdot 0,041 \text{ dm}}$$

$$\underline{\underline{P_F = 4,1}}$$

$$s = \frac{V}{O} = \frac{6,11 \text{ dm}^3}{88,6 \text{ dm}^2}$$

$$s = 0,069 \text{ dm}$$

$$P_F = \frac{\sqrt[3]{V}}{6 \cdot s}$$

$$P_F = \frac{\sqrt[3]{6,11 \text{ dm}^3}}{6 \cdot 0,069 \text{ dm}}$$

$$\underline{\underline{P_F = 4,4}}$$

Berechnung der Dimensionierung nach Czikel

$$P_K = \frac{V_K}{V}$$

$$P_K = \frac{0,16 \text{ dm}^3}{0,31 \text{ dm}^3}$$

$$\underline{\underline{P_K = 0,5}}$$

$$P_K = \frac{V_K}{V}$$

$$P_K = \frac{1,00 \text{ dm}^3}{1,09 \text{ dm}^3}$$

$$\underline{\underline{P_K = 0,9}}$$

$$P_K = \frac{V_K}{V}$$

$$P_K = \frac{5,93 \text{ dm}^3}{6,11 \text{ dm}^3}$$

$$\underline{\underline{P_K = 1,0}}$$

zusätzlich, erforderliche Größen für Berechnungen nach Pacyna

a, b, c : Kantenlängen des das Gussstück umschließenden Quaders (für Laufräder *d, d, h*)

Teil B

$$\begin{aligned} d &= 1,7 \text{ dm} \\ h &= 0,55 \text{ dm} \end{aligned}$$

Teil D

$$\begin{aligned} d &= 2,8 \text{ dm} \\ h &= 0,59 \text{ dm} \end{aligned}$$

Teil F

$$\begin{aligned} d &= 5,14 \text{ dm} \quad (\rightarrow a=d; b=d) \\ h &= 1,26 \text{ dm} \quad (\rightarrow c=h) \end{aligned}$$

mittlere Wanddicken der oberen d_o und unteren d_u Scheibe sowie der Schaufeln d_s , sowie die dazugehörigen Flächen F_o , F_u und F_s

$$\begin{aligned} d_o &= 6,0 \text{ mm}; F_o = 4,5 \text{ dm}^2 \\ d_u &= 6,5 \text{ mm}; F_u = 4,5 \text{ dm}^2 \\ d_s &= 3,0 \text{ mm}; F_s = 0,5 \text{ dm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_o &= 7,0 \text{ mm}; F_o = 12,3 \text{ dm}^2 \\ d_u &= 8,0 \text{ mm}; F_u = 12,3 \text{ dm}^2 \\ d_s &= 4,0 \text{ mm}; F_s = 1,8 \text{ dm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_o &= 12,0 \text{ mm}; F_o = 41,5 \text{ dm}^2 \\ d_u &= 13,0 \text{ mm}; F_u = 41,5 \text{ dm}^2 \\ d_s &= 6,0 \text{ mm}; F_s = 5,6 \text{ dm}^2 \end{aligned}$$

Teil B**Teil D****Teil F**Berechnung der Gestrecktheit nach Pacyna

$$G = \frac{d_R}{d_{RW}} = \frac{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt[3]{V_G}}$$

$$G = \frac{d_R}{d_{RW}} = \frac{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt[3]{V_G}}$$

$$G = \frac{d_R}{d_{RW}} = \frac{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt[3]{V_G}}$$

$$G = \frac{\sqrt{1,7^2 + 1,7^2 + 0,55^2}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt[3]{0,31}}$$

$$G = \frac{\sqrt{2,8^2 + 2,8^2 + 0,59^2}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt[3]{1,09}}$$

$$G = \frac{\sqrt{5,14^2 + 5,14^2 + 1,26^2}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt[3]{6,11}}$$

$$\underline{\underline{G = 2,1}}$$

$$\underline{\underline{G = 2,2}}$$

$$\underline{\underline{G = 2,3}}$$

Berechnung der Dünnwandigkeit nach Pacyna

$$D = \frac{a_W}{d_W} = \frac{\sqrt[3]{V_G}}{d_W} \quad \text{mit} \quad d_W = \frac{F_1 \cdot d_1 + F_2 \cdot d_2 + \dots + F_{n-1} \cdot d_{n-1} + F_n \cdot d_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_{n-1} + F_n}$$

$$d_W = \frac{F_o \cdot d_o + F_u \cdot d_u + F_S \cdot d_S}{F_o + F_u + F_S}$$

$$d_W = \frac{F_o \cdot d_o + F_u \cdot d_u + F_S \cdot d_S}{F_o + F_u + F_S}$$

$$d_W = \frac{F_o \cdot d_o + F_u \cdot d_u + F_S \cdot d_S}{F_o + F_u + F_S}$$

$$d_W = \frac{4,5 \cdot 0,06 + 4,5 \cdot 0,065 + 0,5 \cdot 0,03}{4,5 + 4,5 + 0,5}$$

$$d_W = \frac{12,3 \cdot 0,07 + 12,3 \cdot 0,08 + 1,8 \cdot 0,04}{12,3 + 12,3 + 1,8}$$

$$d_W = \frac{41,5 \cdot 0,12 + 41,5 \cdot 0,13 + 0,5 \cdot 0,06}{41,5 + 41,5 + 0,5}$$

$$\underline{\underline{d_W = 0,061 \text{ dm}}}$$

$$\underline{\underline{d_W = 0,073 \text{ dm}}}$$

$$\underline{\underline{d_W = 0,121 \text{ dm}}}$$

$$D = \frac{\sqrt[3]{V_G}}{d_W}$$

$$D = \frac{\sqrt[3]{V_G}}{d_W}$$

$$D = \frac{\sqrt[3]{V_G}}{d_W}$$

$$D = \frac{\sqrt[3]{0,31 \text{ dm}^3}}{0,061 \text{ dm}}$$

$$D = \frac{\sqrt[3]{1,09 \text{ dm}^3}}{0,073 \text{ dm}}$$

$$D = \frac{\sqrt[3]{6,11 \text{ dm}^3}}{0,121 \text{ dm}}$$

$$\underline{\underline{D = 11,1}}$$

$$\underline{\underline{D = 14,2}}$$

$$\underline{\underline{D = 15,1}}$$

Berechnung der Verpackungsperrigkeit nach Pacyna

$$V = \frac{V_U}{V_G} = \frac{a \cdot b \cdot c}{V_G}$$

$$V = \frac{V_U}{V_G} = \frac{a \cdot b \cdot c}{V_G}$$

$$V = \frac{V_U}{V_G} = \frac{a \cdot b \cdot c}{V_G}$$

$$V = \frac{1,7 \text{ dm} \cdot 1,7 \text{ dm} \cdot 0,55 \text{ dm}}{0,31 \text{ dm}^3}$$

$$V = \frac{2,8 \text{ dm} \cdot 2,8 \text{ dm} \cdot 0,59 \text{ dm}}{1,09 \text{ dm}^3}$$

$$V = \frac{5,14 \text{ dm} \cdot 5,14 \text{ dm} \cdot 1,26 \text{ dm}}{6,11 \text{ dm}^3}$$

$$\underline{\underline{V = 5,2}}$$

$$\underline{\underline{V = 4,2}}$$

$$\underline{\underline{V = 5,5}}$$

Klassifikationsschlüssel nach Pacyna

aus Gestrecktheit (G), Dünnwandigkeit (D) und Verpackungsperrigkeit (V) wird der Schlüssel wie folgt berechnet: z.B zweistellig → gerundete, verzehnfachte Logarithmen $10 \cdot \log(G)$ $10 \cdot \log(D)$ $10 \cdot \log(V)$

$$10 \cdot \log(2,1) \quad 10 \cdot \log(11,1) \quad 10 \cdot \log(5,2)$$

$$10 \cdot \log(2,2) \quad 10 \cdot \log(14,2) \quad 10 \cdot \log(4,2)$$

$$10 \cdot \log(2,3) \quad 10 \cdot \log(15,1) \quad 10 \cdot \log(5,5)$$

Anlage 14

Gegenüberstellung berechnete Zeitwerte und der Zeitkalkulation aus Arbeitsplänen der Gießerei

Formverfahren	Rohteil-Gewicht (in kg)	Werkstofffaktor	Kernformverfahren	Spaltbreite (in mm)	Anz. d. Kerne	Schaulenkürmung	Kernschwierigkeit	Durchmesser (in mm)	Formstoff-Volumen (in l)	Formzeit (beobachtet) (in min)	Formzeit (berechnet) (in min)	prozentuale Abweichung	Kernformzeit (beobachtet) (in min)	Kernformzeit (berechnet) (in min)	prozentuale Abweichung	Ausleerzeit (beobachtet) (in min)	Ausleerzeit (berechnet) (in min)	prozentuale Abweichung	Putzzeit (beobachtet) (in min)	Putzzeit (berechnet) (in min)	prozentuale Abweichung
Maschine	2,0	1,0	KCBS	6	1	1	1	169	42	8	8	0%	7	8	14%	2	2	0%	5	5	0%
Maschine	2,3	1,0	KCBS	8	2	1	2	150	39	8	8	0%	9	11	22%	2	2	0%	4	5	25%
Maschine	2,3	1,0	KCBS	14	1	1	1	160	39	8	7	-13%	7	7	0%	2	2	0%	5	5	0%
Maschine	2,3	1,0	KCBS	6	1	1	1	169	39	8	7	-13%	6	8	33%	2	2	0%	4	5	25%
Maschine	2,3	1,0	KCBS	11	1	1	1	169	39	8	7	-13%	6	7	17%	2	2	0%	5	5	0%
Maschine	2,3	1,0	KCBS	10	1	1	1	165	42	8	8	0%	8	7	-13%	2	2	0%	6	5	-17%
Maschine	2,3	1,7		5	0	0	0	170	42	7	7	0%				2	2	0%	4	6	50%
Maschine	2,4	1,0	KCBS	8	1	1	1	170	42	8	8	0%	7	7	0%	2	2	0%	4	5	25%
Maschine	2,5	1,7	KCBS	7	1	0	1	150	42	6	8	33%	5	7	40%	2	2	0%	5	6	20%
Maschine	2,6	1,0	KCBS	9	1	1	1	165	39	8	7	-13%	7	7	0%	2	2	0%	5	5	0%
Maschine	2,7	1,7	KCBS	8	1	1	1	170	42	8	9	13%	7	7	0%	2	2	0%	6	6	0%
Maschine	2,8	1,7	KCBS	9	1	1	1	165	42	8	8	0%	7	7	0%	2	2	0%	8	6	-25%
Maschine	2,8	1,0	KCBS	8	1	0	1	191	42	8	8	0%	6	6	0%	2	2	0%	5	5	0%
Maschine	2,8	1,0	KCBS	8	1	0	1	185	42	8	8	0%	5	6	20%	2	2	0%	5	5	0%
Maschine	2,8	1,0		4	0	0	0	220	42	7	7	0%				2	2	0%	5	6	20%
Maschine	2,9	1,0	KCBS	11	2	1	2	190	42	8	9	13%	7	11	57%	2	2	0%	4	5	25%
Maschine	3,1	1,0	KCBS	9	1	0	1	166	42	8	8	0%	5	6	20%	2	2	0%	6	5	-17%
Maschine	3,5	1,0	KCBS	9	1	0	1	160	42	8	8	0%	6	6	0%	2	2	0%	5	5	0%
Maschine	3,5	1,0	KCBS	9	1	0	1	160	42	8	8	0%	6	6	0%	2	2	0%	5	5	0%
Maschine	3,5	1,7	KCBS	11	2	1	2	190	42	8	9	13%	10	11	10%	2	2	0%	8	6	-25%
Maschine	3,8	1,7	KCBS	9	1	1	1	166	42	8	8	0%	8	7	-13%	2	2	0%	10	6	-40%
Maschine	5,3	1,0	KCBS	40	1	0	1	205	41	8	8	0%	8	6	-25%	2	2	0%	6	6	0%
Maschine	6,5	1,7	KCBS	40	1	0	1	205	41	8	8	0%	6	6	0%	2	2	0%	10	7	-30%
Maschine	8,3	1,0	KCBS	18	1	1	1	259	41	8	8	0%	7	7	0%	2	2	0%	6	6	0%
Maschine	8,6	1,0	KCBS	18	1	1	1	280	47	8	8	0%	7	7	0%	2	2	0%	6	6	0%
Maschine	8,6	1,0	KCBS	18	1	1	1	280	47	8	8	0%	7	7	0%	2	2	0%	6	6	0%
Maschine	8,6	1,0	KCBS	22	1	1	1	280	41	8	8	0%	7	7	0%	2	2	0%	6	6	0%
Maschine	9,1	1,7	KCBS	18	1	1	1	259	41	8	8	0%	7	7	0%	2	2	0%	6	7	17%
Maschine	9,3	1,0	KCBS	22	2	0	2	280	41	8	9	13%	11	10	-9%	2	2	0%	6	6	0%
Maschine	10,6	1,7	KCBS	22	1	1	1	280	41	8	8	0%	7	8	14%	2	2	0%	10	11	10%
Maschine	11,3	1,7	KCBS	18	1	1	1	280	47	8	8	0%	7	8	14%	2	2	0%	10	11	10%
Maschine	12,0	1,0	KCBS	18	2	1	2	250	40	8	9	13%	11	12	9%	2	2	0%	6	8	33%
Maschine	12,0	1,7	KCBS	18	2	1	2	250	41	8	9	13%	11	12	9%	2	2	0%	10	11	10%
Maschine	12,0	1,7	KCBS	18	1	1	1	250	41	8	8	0%	7	8	14%	2	2	0%	10	11	10%
Maschine	12,4	1,7	KCBS	22	2	0	2	280	47	8	9	13%	11	11	0%	2	2	0%	10	11	10%
Maschine	13,9	1,7	KCBS	14	1	0	1	326	95	15	14	-7%	10	8	-20%	7	6	-14%	10	14	40%
Maschine	21,7	1,0	KCBS	28	1	1	1	404	94	15	14	-7%	10	10	0%	7	6	-14%	10	12	20%
Maschine	23,6	1,7	KCBS	19	2	1	1	320	94	15	15	0%	10	10	0%	7	6	-14%	10	18	80%
Maschine	24,5	1,7	KCBS	28	1	1	1	404	94	15	14	-7%	10	10	0%	7	6	-14%	10	18	80%
Hand	3,9	1,0	KCBS	6	1	1	1	204	41	35	35	0%	8	8	0%	2	2	0%	6	6	0%
Hand	8,0	1,0	KCBS	31	1	1	1	236	70	45	50	11%	9	7	-22%	5	6	20%	8	6	-25%
Hand	10,4	1,0	KCBS	16	1	1	1	275	70	50	49	-2%	7	8	14%	6	6	0%	9	8	-11%
Hand	12,2	1,0	KCBS	30	1	1	1	275	69	55	49	-11%	9	8	-11%	5	6	20%	10	8	-20%
Hand	13,5	1,0	Hand	54	1	1	4	275	69	55	49	-11%	20	21	5%	6	6	0%	10	8	-20%
Hand	14,1	1,0	KCBS	27	2	1	2	305	69	45	49	9%	12	12	0%	5	6	20%	8	10	25%
Hand	15,0	1,7	KCBS	24	2	1	2	274	69	45	49	9%	12	13	8%	6	6	0%	12	11	-8%
Hand	15,8	1,0	Hand	21	1	1	4	324	105	65	67	3%	20	22	10%	8	9	13%	15	10	-33%
Hand	17,3	1,0	Hand	58	1	1	4	269	68	53	49	-8%	25	22	-12%	6	6	0%	7	8	14%
Hand	19,4	1,0	Hand	15	1	1	4	345	116	70	72	3%	30	23	-23%	8	9	13%	9	10	11%
Hand	25,0	1,0	Hand	26	2	1	5	404	103	45	66	47%	28	29	4%	8	9	13%	8	12	50%
Hand	26,7	1,0	Hand	65	2	1	5	320	114	75	72	-4%	30	29	-3%	8	9	13%	10	12	20%
Hand	30,5	1,0	Hand	91	2	1	5	345	113	50	71	42%	33	30	-9%	8	9	13%	15	14	-7%
Hand	31,0	1,0	Hand	95	2	1	5	360	113	80	71	-11%	31	30	-3%	8	9	13%	15	14	-7%
Hand	38,0	1,0	Hand	32	2	1	5	500	121	55	75	36%	30	31	3%	10	9	-10%	15	16	7%
Hand	38,0	1,0	Hand	60	2	1	5	419	136	75	82	9%	28	31	11%	9	9	0%	20	14	-30%
Hand	41,0	1,0	Hand	65	1	1	4	390	111	75	70	-7%	30	27	-10%	8	9	13%	20	16	-20%
Hand	42,0	1,0	Hand	40	1	1	4	404	135	90	82	-9%	25	27	8%	8	9	13%	15	16	7%
Hand	45,0	1,0	Hand	21	1	1	4	514	135	80	82	2%	25	28	12%	10	9	-10%	15	18	20%
Hand	45,0	1,0	Hand	60	2	1	5	419	142	85	86	1%	32	33	3%	10	9	-10%	15	16	7%
Hand	48,0	1,0	Hand	31	2	1	5	514	119	75	74	-1%	32	33	3%	9	9	0%	15	18	20%
Hand	49,5	1,7	Hand	32	2	1	5	500	118	55	74	35%	32	33	3%	10	9	-10%	20	28	40%
Hand	60,0	1,7	Hand	105	2	1	5	419	166	95	98	3%	45	36	-20%	12	13	8%	25	31	24%
Mittelwert ohne Ausreißer										27,78	28,26		14,35	14,25		4,40	4,47		8,94	9,39	
mittlere Abweichung											2%			-1%			1%			5%	

Tabelle 9.5 Gegenüberstellung berechnete Zeitwerte und Zeitwerte aus den Arbeitsplänen der Gießerei

Legende: errechneter Wert Wert aus dem Arbeitsplan

Anlage 15

Beispielrechnung zur Zeitkalkulation für Teil F:

$m = 48,0 \text{ kg}$; $Wf = 1,0$ (Gusseisen); Anzahl der Kerne $\rightarrow n_K = 2$;
 Durchmesser $d = 519 \text{ mm}$; Spaltbreite: $b_{Sp} = 31 \text{ mm}$; in sich gekrümmte Schaufeln $\rightarrow Sk = 1$;
 Handformverfahren $\rightarrow Fv = 'H'$; Formstoffvolumen $V_{Fs} = 119 \text{ l}$;
 Kernherstellungsverfahren $\rightarrow Kv = 'H'$ und ein Bohrkern \rightarrow Kernschwierigkeit: $KS = 5$

Formerei:

$$\text{if } (Fv = 'M') \text{ then } t_{Formen} = 1 \text{ min} \cdot (V_{Fs}^{0,72} \text{ div } 2l) + n_K$$

$$\text{else } t_{Formen} = 15 \text{ min} + 1 \text{ min} \cdot (V_{Fs} \text{ div } 2l)$$

mit $Fv = 'H'$ \rightarrow

$$t_{Formen} = 15 \text{ min} + 1 \text{ min} \cdot (V_{Fs} \text{ div } 2l)$$

$$t_{Formen} = 15 \text{ min} + 1 \text{ min} \cdot (119l \text{ div } 2l)$$

$$t_{Formen} = 15 \text{ min} + 1 \text{ min} \cdot 59$$

$$\underline{t_{Formen} = 74 \text{ min}} \quad (\text{nach Arbeitsplan } 75 \text{ min})$$

Kernmacherei:

$$t_{Kern} = 1 \text{ min} \cdot ((m_{Rohteil} \text{ div } 5kg) + (15mm \text{ div } b_{Sp}) + \text{round}(4,5 \cdot Ks) + Sk)$$

$$t_{Kern} = 1 \text{ min} \cdot ((48kg \text{ div } 5kg) + (15mm \text{ div } 31mm) + \text{round}(4,5 \cdot 5) + 1)$$

$$t_{Kern} = 1 \text{ min} \cdot ((9 + 0 + \text{round}(22,5) + 1)$$

$$t_{Kern} = 1 \text{ min} \cdot (9 + 0 + 23 + 1)$$

$$\underline{t_{Kern} = 33 \text{ min}} \quad (\text{nach Arbeitsplan } 32 \text{ min})$$

Ausleeren:

$$t_{Ausleeren} = 2 \text{ min} + \text{round}(3,5 \text{ min} \cdot (V_{Fs} \text{ div } 50l))$$

$$t_{Ausleeren} = 2 \text{ min} + \text{round}(3,5 \text{ min} \cdot (119l \text{ div } 50l))$$

$$t_{Ausleeren} = 2 \text{ min} + \text{round}(3,5 \text{ min} \cdot 2)$$

$$\underline{t_{Ausleeren} = 9 \text{ min}} \quad (\text{nach Arbeitsplan } 9 \text{ min})$$

Putzerei:

$$\text{If } (m < 10 \text{ kg}) \text{ then } t_{Putzen} = 4 \text{ min} + 1 \text{ min} \cdot \text{round}(Wf \cdot (d_{Laufgrad} \text{ div } 100mm))$$

$$\text{else } t_{Putzen} = 4 \text{ min} + 2 \text{ min} \cdot \text{round}(Wf \cdot ((d_{Laufgrad} \text{ div } 150mm) + (m_{Rohteil} \text{ div } 10kg)))$$

mit $m = 48,0 \text{ kg}$ \rightarrow

$$t_{Putzen} = 4 \text{ min} + 2 \text{ min} \cdot \text{round}(Wf \cdot ((d_{Laufgrad} \text{ div } 150mm) + (m_{Rohteil} \text{ div } 10kg)))$$

$$t_{Putzen} = 4 \text{ min} + 2 \text{ min} \cdot \text{round}(1 \cdot ((519mm \text{ div } 150mm) + (48kg \text{ div } 10kg)))$$

$$t_{Putzen} = 4 \text{ min} + 2 \text{ min} \cdot \text{round}(3 + 4)$$

$$t_{Putzen} = 4 \text{ min} + 2 \text{ min} \cdot 7$$

$$\underline{t_{Putzen} = 18 \text{ min}} \quad (\text{nach Arbeitsplan } 15 \text{ min})$$

Anlage 16

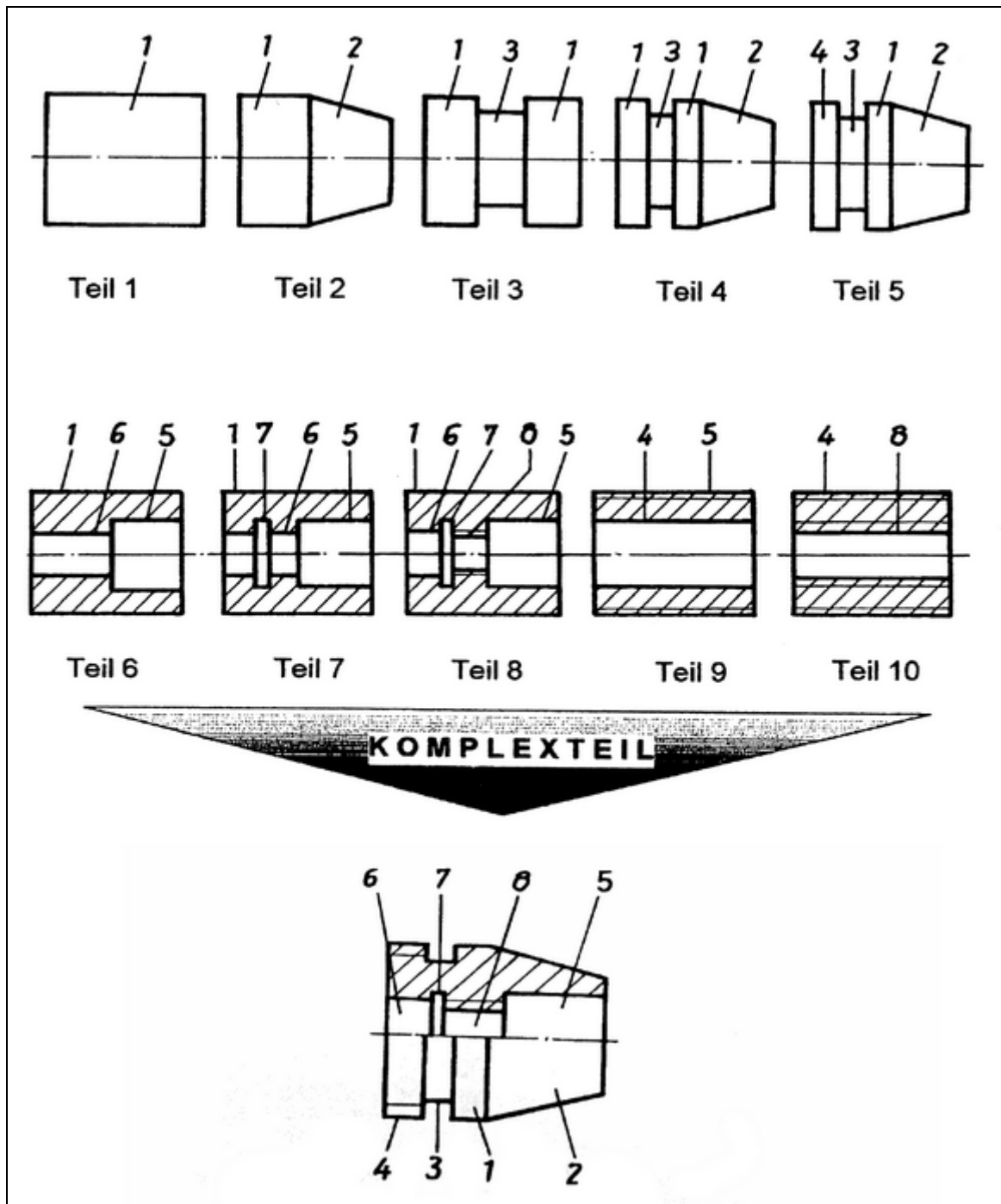
Bildung von Komplextteilen als Basis zur rationellen Generierung von Arbeitsplänen

Bild 9.16 Vorgehensweise zur Bildung von Komplextteilen [34]

Anlage 17

Struktur und Inhalte der Fertigungsplanung

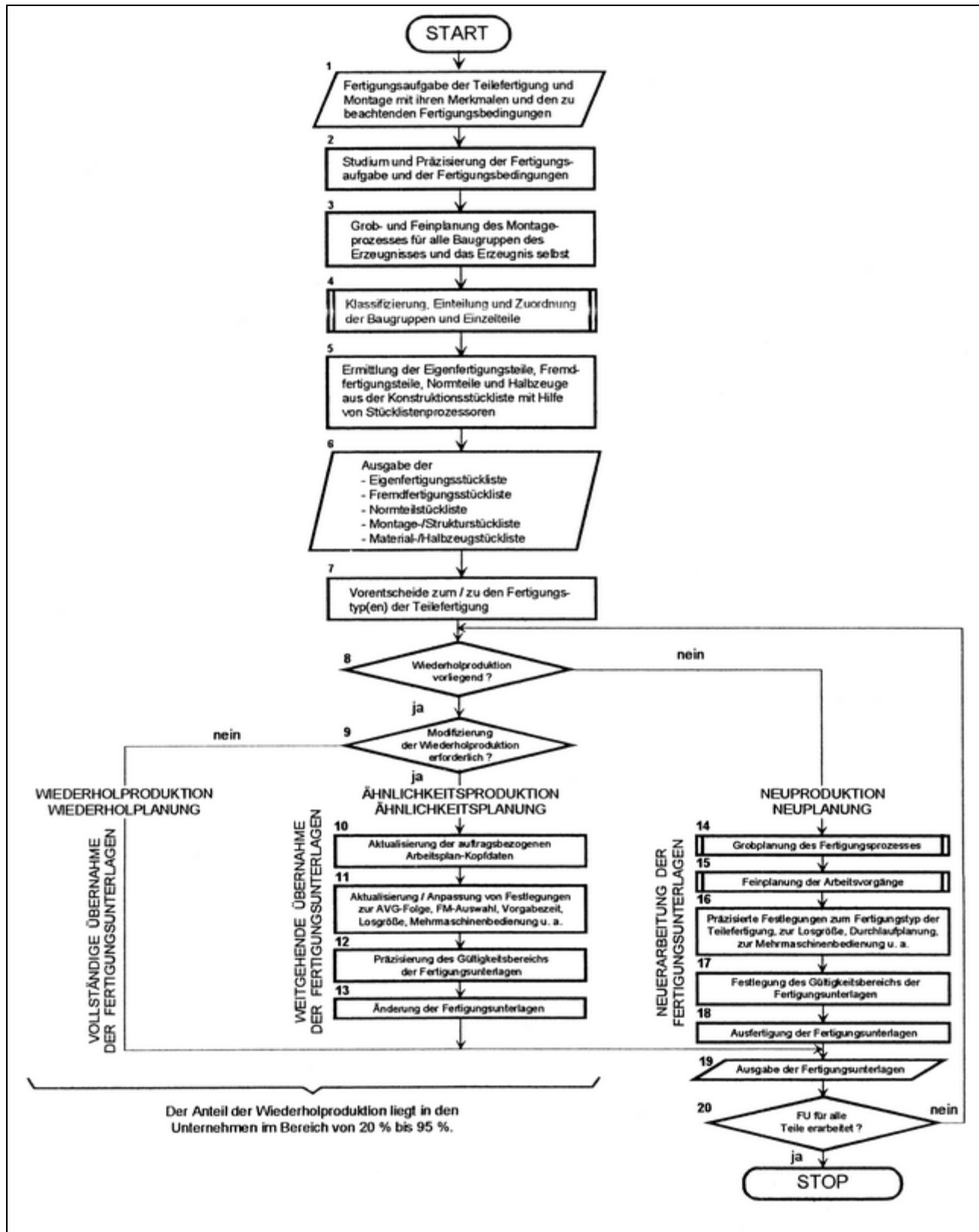


Bild 9.17 Arbeitsschritte der folgerichtigen Fertigungsplanung [34]

GROBPLANUNG	FEINPLANUNG FÜR AUSGEWÄHLTE AUFGABENGEBIETE				
<p>Vollständiger Fertigungsprozeß</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Präzisierung der Fertigungsaufgabe ● Bestimmung der Fertigungsbedingungen ● Prüfung der Machbarkeit ● Prüfung auf fertigungsgerechte Gestaltung ● Bestimmung möglicher Rohteilvarianten ● Bestimmung alternativer Arbeitsfolgen für jede Rohteilvariante <p>Variantenbewertung:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Bestimmung des günstigsten Rohteils ● Bestimmung der zugeordneten günstigsten Arbeitsfolge (Grobenentscheid) 	<p>Urformtechnische Rohteilfertigung</p> <ul style="list-style-type: none"> ⇨ Bestimmung der Ausrüstungsvarianten ⇨ Erarbeitung der Rohteilzeichnung ⇨ Erarbeitung der Plattenbelegung incl. Dimensionierung des Gießsystems ⇨ Konstruktion der Urformwerkzeuge ⇨ Bestimmung der Verfahrensfolge und der Arbeitsparameter (Gieß-, Abkühl-, Wärmebehandlungstemperaturen u. a.) ⇨ Vorgabezeit- und Mengenbestimmung (Gatterungsberechnungen -u. a.) ⇨ Qualitätssicherungsmaßnahmen (Probenahme u. a.) 	<p>Umformtechnische Rohteilfertigung</p> <ul style="list-style-type: none"> ⇨ Erarbeitung der Rohteilzeichnung ⇨ Bestimmung von Ausgangszustand, Formänderungen, Spannungen, Umformstufen und Endzustand ⇨ Bestimmung von Verfahrensvarianten, Ausrüstungen und Parametern (Umformgeschwindigkeiten, -temperaturen, -graden) ⇨ Erarbeitung der Gesenkbelegung ⇨ Konstruktion der Umformwerkzeuge ⇨ Vorgabezeit- und Mengenbestimmung ⇨ Qualitätssicherung 	<p>Fügetechnische Rohteilfertigung</p> <ul style="list-style-type: none"> ⇨ Bestimmung der Verfahrensvarianten des Schweißens ⇨ Bestimmung von Schweißzusätzen, -hilfsstoffen, Wärmequellen und ggf. von Kräfteinwirkungen ⇨ Bestimmung von Verfahrensparametern, Naht- und Fugerformen ⇨ Bestimmung von vor- und nachbereitenden Maßnahmen ⇨ Erarbeitung einer Rohteilzeichnung ⇨ Erarbeitung von Schweißfolgeplänen und Kontrollvorgaben 	<p>Spanende Teilebearbeitung</p> <ul style="list-style-type: none"> ⇨ Gliederung der Arbeitsvorgänge in Arbeitsvorgangsstufen ⇨ Festlegung von Maschinen, Werkzeugen, Schneidstoffen und Hilfsstoffen ⇨ Schnittaufteilung, Arbeitswertbestimmung und -optimierung ⇨ Prüfung auf Einhaltung der Restriktionen ⇨ Vorgabezeitbestimmung und Programmierung 	<p>Wärmebehandlung von Bauteilen</p> <ul style="list-style-type: none"> ⇨ Festlegung der Verfahrensvarianten zur Erzeugung des Endzustandes und ggf. notwendiger Zwischenstände ⇨ Bestimmung der Anforderungen der Wärmebehandlung an andere Arbeitsvorgänge ⇨ Bestimmung der Ausrüstungen und Arbeitsparameter (Temperaturen, Haltezeiten, Abkühlbedingungen und Medien)

Bild 9.18 Inhalt der Grob- und Feinplanung von Fertigungsprozessen [34]

MERKMALE	PLANUNGS-ART	WIEDERHOL-PLANUNG	ÄHNLICHKEITSPLANUNG		NEUPLANUNG	
			VARIANTEN-PLANUNG	ANPASSUNGS-PLANUNG	manuelle Bestimmung der Arbeitsvorgangsfolge	automatische Bestimmung der Arbeitsvorgangsfolge
Charakteristik		Identisches Objekt ist zu fertigen	Objekt hoher Ähnlichkeit ist zu fertigen	Objekt teilweiser Ähnlichkeit ist zu fertigen	Neuartiges Objekt ist zu fertigen, es liegt kein vergleichbares fertigungstechnisches Objekt vor	
Aufgabenteilung	Computer übernimmt	Speichern und verwalten der Arbeitspläne; Textverarbeitungsfunktionen	Automatisches Erzeugen des vollständigen Arbeitsplans für enge Teilespektren	Suche von Ähnlichkeiten und deren Arbeitspläne durch Clusteranalyse und Klassifikatoren	Bestimmung von Technologiedaten und detaillierte Zeitkalkulation	Automatische Erzeugung des gesamten Arbeitsplans
	Planer übernimmt	Kopieren der Prozeßdateien; Aktualisieren von organisatorischen Daten im Dialog	Eingabe der variantenspezifischen Parameter des neuen Fertigungsobjekts	Ausfertigen des neuen Arbeitsplans durch Anpassen/ Ändern eines ähnlichen Plans	Eingabe der Geometriedaten und der Arbeitsvorgangsfolge	Wenige und schwierig zu algorithmisierende Entscheidungen
zu schaffende Voraussetzungen		Bürocomputer, Textverarbeitungsprogramm	Erarbeitung eines Variantenprogramms	Klassifikation, Clusteranalyse, CAD-Daten	Zugriff auf Zeit- und Technologiedaten	Zugriff auf gesamtes Planungswissen

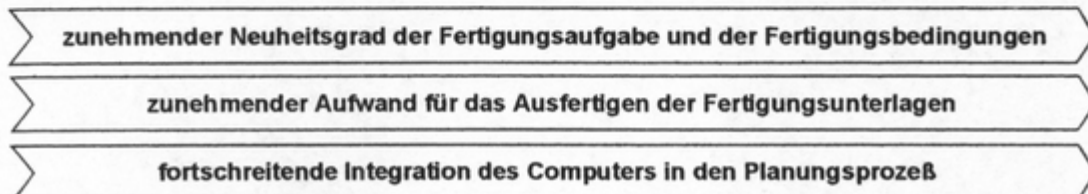


Bild 9.19 Automatisierungsstufen der Arbeitsplanerstellung für unterschiedliche Planungsarten [34]

Anlage 19

Einflüsse auf den Gussteilpreis

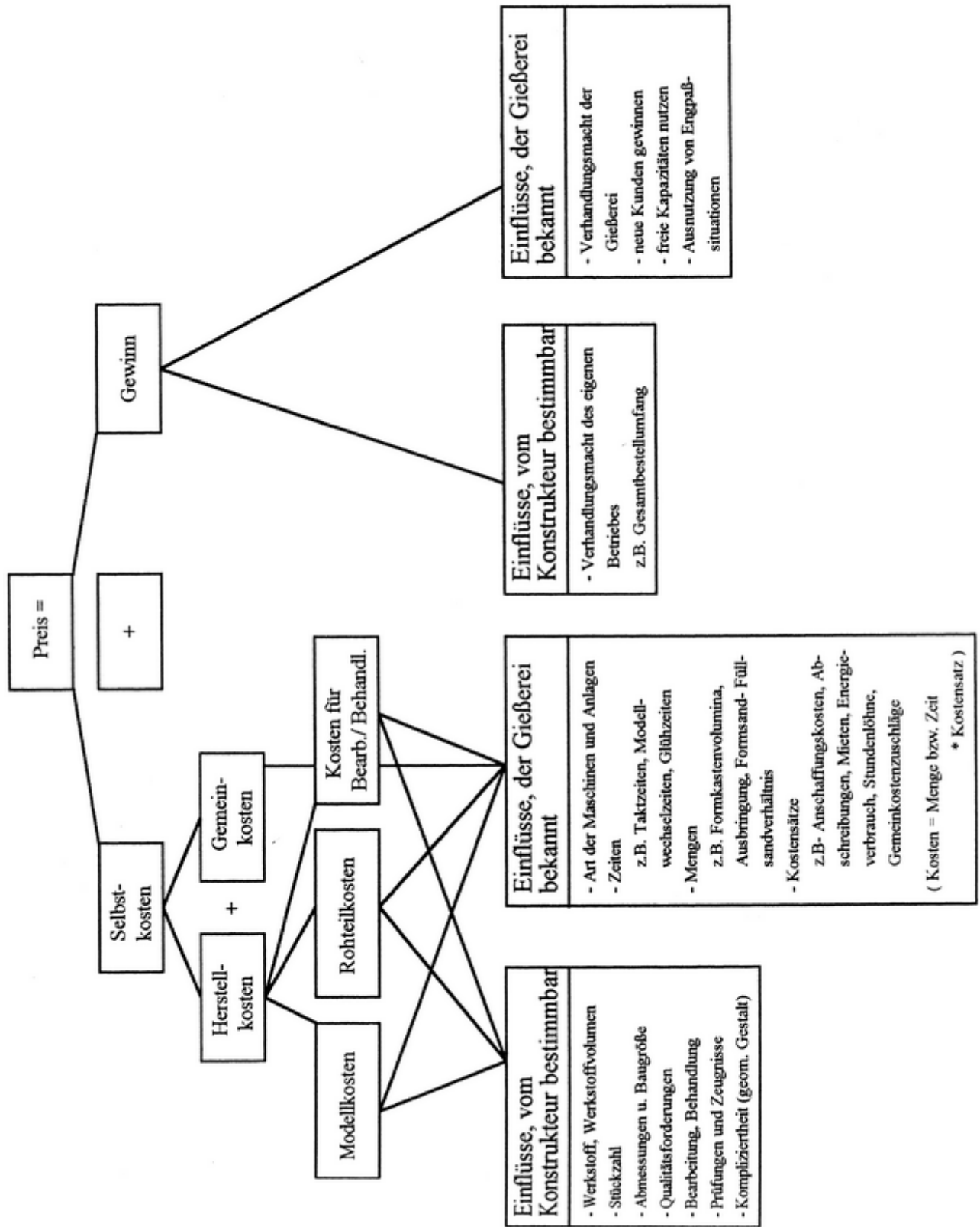


Bild 9.21 Einflüsse auf den Gussteilpreis [106]

Schriftliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer kommerziellen Promotionsberatung in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form als Dissertation eingereicht und ist als Ganzes auch noch nicht veröffentlicht.

Havelberg, 29.05.2008

gez. Hannes König

LEBENS LAUF

ANGABEN ZUR PERSON

Name : Hannes König
Familienstand : verheiratet, 2 Kinder
Staatszugehörigkeit : BRD
Geburtstag : 31.05.1958
Geburtsort : Vacha / Rhön

AUSBILDUNG

1964 - 1974 Polytechnische Oberschule Letzlingen
Abschluss 10. Klasse

1974 - 1975 Technische Hochschule „Otto-von-Guericke“ Magdeburg
Vorkurs – Abschluss „Sonderreife“

1975 - 1979 Technische Hochschule „Otto-von-Guericke“ Magdeburg
Studium: Diplom-Lehrer für Physik und Mathematik

1990 Pädagogische Hochschule „Liselotte Herrmann“ Güstrow
Studium: Fachabschluss und Lehrbefähigung für Informatik

1993 - 1995 Deutsche Akademie für Vermögensberatung Frankfurt/M.
BDV-Ausbildung: Geprüfter Vermögensberater

1997 - 1998 Industrie- und Handelskammer Potsdam
IHK-Zertifikat „Grundlagen der Finanzdienstleistung“

2003 - 2008 Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Promotionsstudent – Fakultät für Maschinenbau

BERUFSERFAHRUNG

1979 - 1986 POS „Werner Seelenbinder“ Liebenwalde
Lehrer (Physik, Mathematik, Astronomie, Technisches Zeichnen)

1986 - 1990 Station „Junger Naturforscher und Techniker“ Havelberg
Päd. Mitarbeiter / Stellv. Leiter (Informatik, Elektronik, Technik, Modellbau)

1990 - 1993 Pestalozzi-Gymnasium Havelberg
Lehrer (Informatik, Physik)

1993 - 2001 DVAG Frankfurt/M. Havelberg/Brandenburg
Selbständiger Vermögensberater (Agenturleiter, Kundenbetreuer, Ausbilder)

2000 Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
wissenschaftlicher Mitarbeiter (Arbeitsvorbereitung im Gießereiwesen)

seit 1987 Kreis-Volkshochschule Stendal Havelberg
Dozent (Kurse im EDV / IT – Bereich)

seit 2001 Pestalozzi-Gymnasium / Diesterweg-Gymnasium Havelberg
Lehrer (Informatik, Wirtschaft / Innovationskurs)

BESONDERE ERFAHRUNGEN UND INITIATIVEN

1994 - 1999 ComputerClub Havelberg
Initiator und Leiter (Talentförderung im außerschulischen Bereich)

seit 1999 Schüler-Institut für Technik und angewandte Informatik SITI e.V. Havelberg
Initiator und Leiter (regionales und landesweites Angebot zur Förderung von Technik- und Wirtschaftsinteresse / Verbindung Schule – Wirtschaft)

