Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist in der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt und zugänglich.
http://www.ub.tuwien.ac.at

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology.
http://www.ub.tuwien.ac.at/eng

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN
Vienna University of Technology

Institut für Fertigungstechnik und Hochleistungslasertechnik

# Diplomarbeit

## Evaluierung und Einführung eines Tool-Management-Systems in einem produzierenden Unternehmen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs unter der Leitung von

**Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Friedrich Bleicher**

(Institut für Fertigungstechnik und Hochleistungslasertechnik)

**Dipl.-Ing. Dr. techn. Farhang Akhavei**

(Institut für Fertigungstechnik und Hochleistungslasertechnik)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

**Morteza Binaie**

1125196 (Kennzahl: 066 445)

Laudongasse 36/419
1080 Wien

Wien, im Juni 2017

Morteza Binaie

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

# Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einen Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im Juni 2017

Morteza Binaie

# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Prof. Dipl.-Ing. Dr. Friedrich Bleicher für die Betreuung meiner Diplomarbeit bedanken. Ebenfalls möchte ich mich ganz besonders bei Herrn Dipl.-Ing. Dr. Farhang Akhavei für seine Unterstützung bedanken, er ist mir immer wieder mit Rat und Tat zur Seite gestanden.

Ein großes Dankeschön möchte ich Herrn Prof. Gerhard Kormann für seine kontinuierliche Unterstützung aussprechen. Ebenso möchte ich mich explizit bei Welser Profile GmbH und besonders Robert Buchinger bedanken, die mich maßgeblich während meiner Diplomarbeit unterstützt haben.

Am Schluss möchte ich mich noch bei meiner Familie bedanken, die mich während meines ganzen Lebens unterstützt und ermutigt hat.

# Geschlechtsneutrale Formulierung

Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wird in der vorliegenden Diplomarbeit die gewohnte männliche Sprachform bei personenbezogenen Substantiven und Pronomen verwendet. Dies impliziert jedoch keine Benachteiligung des weiblichen Geschlechts, sondern soll im Sinne der sprachlichen Vereinfachung als geschlechtsneutral zu verstehen sein.

# Kurzfassung

Das Ziel des Projekts ist im Rahmen von „Industrie 4.0“ eine Softwarelösung, mittels welcher Suchzeiten, Wartezeiten und Rüstzeiten reduziert werden können, in der Fräsabteilung von Welser Profile GmbH zu evaluieren. Zudem wird durch die Vernetzung mit der zentralen Datenbank ERP der digitale Datenaustausch ermöglicht und im Endeffekt die Produktivität erhöht. Dies erzielt ebenso die Reduktion der Nebenzeiten, die Standardisierung der Werkzeuge und die Erhöhung der Flexibilität von Fertigungszellen. Durch die Standardisierung werden Arbeitsabläufe effizienter und transparenter durchgeführt.

Das Tool-Management-System kommt hierbei als Softwarelösung zum Einsatz und unterstützt die Fertigung durch die Vernetzung mit ERP- und CAD/CAM-Systemen, sowie MES, und weiters die Vernetzung der Anlagen und Maschinen bzw. der Einzelsysteme miteinander, um die Produktivität mit abnehmenden Rüstzeiten und Nebenzeiten zu erhöhen. Darüber hinaus werden Lager- und Werkzeugkosten reduziert und Maschinenstillstand minimiert, hingegen die Prozesssicherheit erhöht und die Produktqualität gewährleistet.

Im ersten Schritt wurde der Ist-Zustand festgehalten und analysiert, danach wurde ein Soll-Zustand in relevanten Abteilungen als Ziel definiert. Unter Berücksichtigung des Soll-Zustandes wurden die Anforderungen erfasst und ein Anforderungskatalog erstellt, um Anbieter für Softwarelösungen zu evaluieren. Durch den Kontakt mit den Teilnehmern der Gruppe „Enterprise 4.0“ (siehe *Abschnitt* 5.1.2), die zu einem früheren Zeitpunkt dieses Tool-Management-System eingeführt hatten, sowie durch Marktrecherche, wurden sechs Anbieter festgelegt, welche die Muss-Anforderungen erfüllt hatten: COSCOM, NCSimul, TDM Systems, TCM International, WinTool und Zoller. Als nächsten Schritt haben diese sechs Softwareanbieter ihre Lösungen präsentiert und ihre Tool-Management-Systeme wurde von 44 Teilnehmern aus Sicht der IT, der ERP Schnittstelle, der CAM Schnittstelle, den Stammdaten, des Prozesskreislaufes etc. evaluiert (siehe *Abschnitt **5.8***). Diese Bewertungen wurden ausgewertet (*Abbildung 24 & Abbildung 25*), zwei Softwareanbieter (Zoller und TDM Systems) auf Basis der definierten Soll-Anforderungen (Anwendbarkeit und Funktionalität ihrer Software) verglichen und evaluiert. Danach haben die Anbieter ihr Angebot sowie den Einführungsplan ihres TM-Systems angegeben.

Da das Zoller Tool-Management-System alle Anforderungen erfüllte und von den Teilnehmern im Vergleich zu allen anderen Anbietern am besten bewertet wurde, wurde dieses schließlich als TM-System ausgewählt. Auch befand sich das Angebot von Zoller im Budgetrahmen der Welser Profile GmbH. Im nächsten Schritt wurde, unter Abstimmung mit Welser Profile, ein Meilensteinplan zur Verfügung gestellt und die Arbeitsschritte gemeinsam definiert. Nach dieser erfolgreichen Einführung des TM-

Systems wurde es ebenfalls in der deutschen Tochterfirma eingeführt und mit dem in Ybbsitz eingesetzten TMS vernetzt. Zoller behauptet, dass durch den Einsatz ihres Tool-Management-Systems die Produktivität um 5% erhöht wird.

# Abstract

The aim of the project is the evaluation of a software solution within the framework of “Industrie 4.0” in the milling unit of Welser Profile GmbH, which can be used to reduce the search time of tools, as well as the waiting and set-up time. In addition, networking with the central database ERP makes digital data exchange possible and ultimately increases productivity. This also achieves the reduction of off-time, the standardization of tools and the increased flexibility of production cells. Standardization makes workflows more efficient and transparent. The tool management system is used as a software solution and supports production by networking MES as well as ERP and CAD / CAM systems and networking and integrating the systems and machines or the individual systems with each other, in order to increase productivity with decreasing setup time and auxiliary process time. In addition, storage costs and tool costs are reduced and machine stoppage is avoided, while the process is more reliable and product quality is ensured. At the outset, the actual state was recorded and analyzed, and subsequently a target state was defined for relevant units. In consideration of the target state, the requirements were recorded and a requirement catalog was created to evaluate providers of software solutions.

Through contact with the participants of “Enterprise 4.0” (a work group consisting of 11 manufacturing companies) that had previously introduced this tool management system, as well as through research on the internet, six providers were identified: COSCOM, NCSimul, TDM Systems, TCM International, WinTool and Zoller. As the next step, these six software providers presented their solutions and their tool management system was evaluated by 44 participants with regard to IT, ERP interface, CAM interface, master data, process cycle etc. (see *section 5.8)*. The assessment was evaluated (*Abbildung 24 & Abbildung 25*), two software providers (Zoller and TDM Systems) fulfilled the defined requirements. After that, the providers specified their offer as well as the implementation plan of their tool management system. In the end, the Zoller tool management system fulfilled all the requirements and was evaluated most favorably by the participants. In addition, the offer by Zoller was in line with the budget of Welser Profile GmbH. In the next step Zoller provided a milestone plan in coordination with Welser Profile and the work steps were defined jointly. After the successful introduction of the TM system on site, the system was also introduced in the branch in Bönen, Germany and networked with the TMS in Ybbsitz. Zoller claims that the introduction of its tool management system increases productivity by 5%.

# Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ..... 3
1.1 Vorwort ..... 3
1.2 Problemstellung und Bedarfsbeschreibung ..... 4
1.3 Zielsetzung ..... 4
2 Stand der Technik ..... 6
2.1 Die moderne IT-Landschaft ..... 6
2.1.1 ERP, MES, PDM ..... 7
2.1.2 Schnittstellen ..... 10
2.2 Das Tool-Management-System ..... 12
2.2.1 Normen (VDI) ..... 13
2.2.2 Standardarbeitsablauf im Tool-Management-System ..... 14
2.3 Herangehensweise bei Softwareeinführung-Projekten ..... 16
2.4 Standardisierung der Prozesse und Abläufe ..... 23
2.4.1 Lean ..... 23
2.4.2 Wertstromdesign ..... 24
2.4.3 5S ..... 24
2.4.4 Poka Yoke ..... 25
2.4.5 Ishikawa-Diagramm ..... 26
2.4.6 Muda, Mura, Muri ..... 26
2.4.7 Kaizen ..... 28
3 Vorgehensweise ..... 29
4 Ist-Zustand ..... 31
4.1 Ablauf ..... 31
4.1.1 Ist-Zustand der Fräsabteilung ..... 38
4.1.2 Ist-Zustand der Ident.-Nummern von Werkzeugen ..... 39
4.2 Prozesszeit ..... 41
5 Soll-Zustand ..... 44
5.1 Definition der Projektmitglieder und des Projektumfangs ..... 44
5.1.1 Key User und relevante Abteilungen ..... 44
5.1.2 Definition des Projektteams ..... 45

5.2 Prozessoptimierung ..... 46
5.3 IT-Architektur ..... 48
5.4 Anforderungen ..... 49
5.4.1 Definition der technischen Anforderungen ..... 50
5.4.2 Definition der organisatorischen Anforderungen ..... 51
5.4.3 Funktionale Anforderungen ..... 52
5.4.4 Prozessanforderungen unter 80/20 Regel ..... 53
5.5 Erstellung des Anforderungskatalogs ..... 54
5.6 Grobe Marktevaluierung ..... 56
5.6.1 Muss-Kriterium und Soll-Kriterium ..... 56
5.6.2 Anbieterübersicht ..... 58
5.7 Feine Marktevaluierung ..... 61
5.8 Evaluierungsformular ..... 61
5.9 Standardisierung von Werkzeugen nach DIN 4000 ..... 65
5.9.1 Implementierung der Standardisierung ..... 66
5.9.2 Soll-Ist-Vergleich ..... 70
5.9.3 Struktur der Datenbank ..... 71
5.9.4 Verwaltung der Daten ..... 71
6 Ergebnisse ..... 72
6.1 Auswertungen ..... 72
6.2 Entscheidung ..... 76
6.3 Weitere Vorgehensweise und Implementierungsstrategie ..... 76
6.3.1 Speicherung von Stammdaten ..... 76
6.3.2 Fräsabteilung ..... 76
6.3.3 Schnittstellen ..... 77
6.3.4 Workshop und Schulung ..... 77
7 Schlussfolgerung ..... 78
8 Abkürzungsverzeichnis ..... 80
9 Literaturverzeichnis ..... 81
Weiterführende Literatur ..... 85
10 Abbildungsverzeichnis ..... 86
11 Tabellenverzeichnis ..... 87

# 1 Einleitung

## 1.1 Vorwort

In den letzten Jahren haben wir aufgrund der Entstehung von neuen Kommunikations- und Informationstechnologien einen wesentlichen Wandel unseres täglichen Lebens mitverfolgen können. Heutzutage kommunizieren Computer und Anlagen in einem weltweiten Netzwerk, dem Internet. Diese Entwicklung schließt auch die industrielle Fertigung ein, die zunehmend von Vorteilen der Informations- und Kommunikationstechnologie profitiert [1].

Die erste industrielle Revolution wurde im Jahr 1712 durch die Erfindung der Dampfmaschine eingeleitet. 1870 wurde die zweite industrielle Revolution mit den ersten hochgelegten Fließbändern begonnen. Computer und programmierbare Steuerungen leiteten 1969 die dritte industrielle Revolution ein. Die vierte industrielle Revolution wurde als die digitale Revolution bezeichnet, da durch Vernetzung von unterschiedlichen Systemen, Modulen und Anlagen, Prozessabläufe effizienter durchgeführt worden sind. Der Begriff „Industrie 4.0“ wurde zum ersten Mal im Jahr 2011 auf der Hannover-Messe verwendet. Im Gegensatz zu den ersten drei industriellen Revolutionen, bestand das Konzept der Industrie 4.0 in der Vernetzung und Integration von Anlagen und Komponenten in Fertigungsprozessen. Die Industrie 4.0 eröffnete neue Möglichkeiten im Bereich der Fertigung, die in jedem Unternehmen individuell sind. Das Konzept der „Smart Factory“ ist dabei einer der wichtigsten Bestandteile der Industrie 4.0 [2].

Hohe Produktvariabilität und ein gleichzeitig kurzer Produktlebenszyklus erfordern flexible Fertigungsstrukturen, die sich schnell an neue Produktherstellungsanforderungen anpassen lassen. Um neue Produktherstellungsanforderungen umsetzen zu können, müssen modulare Fabrikstrukturen aus intelligenten Geräten, den sogenannten „Cyber Physical Systems“, benutzt werden. Der Begriff „Cyber Physical System“ bezeichnet das Konzept der Vernetzung bzw. Automatisierung der Anlagen in einem Unternehmen, in dem jeder Bereich mit anderen im Netzwerk kommunizieren kann und jederzeit identifizierbar ist. Ein Vorteil dieses Systems ist es, dass die Datenübertragung und Datenspeicherung mittels physischer Objekte (wie z.B. RFID und -leser) oder Daten von Werkzeugen in dynamischen Informationsnetzwerken eingeführt werden. Die Automatisierungskomponenten werden mit einer zentralen Infrastruktur vernetzt, die durch Mitarbeiter gestützt und gesteuert wird, damit die Mitarbeiter regelmäßig mittels Schnittstellen mit der IT kommunizieren können und im Falle eines Fehlers in der Lage sind, diesen schnell zu erkennen [1], [3].

Durch die Automatisierung von Prozessen in einem Unternehmen wird eine erhöhte Produktivität, verkürzte Durchlaufzeiten und eine besser steuerbare Fertigung erreicht. Folglich wird die Fertigung noch effizienter durchgeführt. Zudem wird es durch die Erhöhung der Flexibilität und Kommunikation zwischen Modulen in einer Smart Factory möglich, die Produkte in kurzer Zeit, auch in geringen Stückzahlen, zu produzieren. Der Einsatz des Tool-Management-Systems ermöglicht im Rahmen der Industrie 4.0 die Effizienzsteigerung von Anlagen und Systemen in einem produzierenden Unternehmen.

## 1.2 Problemstellung und Bedarfsbeschreibung

Welser Profile GmbH ist ein seit 1664 bestehendes Familienunternehmen, welches sich mit der Verformung und Bearbeitung vom Stahl beschäftigt. Das Unternehmen hat sich von einem Regionalbetrieb zu einer international tätigen Gruppe entwickelt und beschäftigt zur Zeit ca. 2000 Mitarbeiter in den Fertigungswerken Ybbsitz, Gresten, Bönen und zwölf weiteren internationalen Vertriebsniederlassungen. Welser Profile möchte im Sinne des Konzeptes der Industrie 4.0 nun seine Produktivität erhöhen, seine Steuerung verbessern und die Fertigung flexibler gestalten.

Bei der Betrachtung der Fräsabteilung wurde festgestellt, dass durch die Verkürzung der Rüstzeiten eine Produktivitätssteigerung erzielt werden kann. Da die Werkzeugverwaltung momentan manuell erfolgt, suchen Mitarbeiter oft unnötig lange nach Werkzeugen. Werkzeuge können im Lager, im Kasten der Fräsabteilung oder an einer Maschine bereitgestellt werden oder sind im Werk nicht mehr verfügbar. Wenn ein Werkzeug für eine NC-Maschine benötigt wird, wird dort wo das Werkzeug sich befindet die Maschinen-Beschriftungskarte (Identifikationsnummer der NC-Maschine) angelegt. Wenn der Mitarbeiter unter Zeitdruck steht, weil beispielsweise die Fertigung ausgelastet ist, besteht hierbei die Möglichkeit menschlichen Irrens. Es werden beispielsweise Maschinen-Beschriftungskarten in den falschen Werkzeugkasten abgelegt. Zusätzlich ist es schwierig, den Mindestbestand von Werkzeugen zu berücksichtigen. Auch ist die Bereitstellung bzw. Voreinstellung von Werkzeugen nicht effizient, was die Produktivität dämpft. Um die Such- und Rüstzeiten also zu reduzieren wird nun ein zentrales Tool-Management-System eingeführt. Die Einführung dieser Softwarelösung wird im Rahmen der Realisierung der Industrie 4.0 betrachtet.

## 1.3 Zielsetzung

Das Ziel dieses Projektes ist es, durch eine Reduktion von Suchzeiten von Werkzeugen sowie der Rüst- und Wartezeiten, Stillstände der Maschinen sowie daraus resultierende Verzögerungen möglichst zu vermeiden und so die Produktivität zu erhöhen. Zudem werden Arbeitsabläufe standardisiert. Um wirtschaftlicher

produzieren zu können und den Produktionsprozess besser überwachen zu können, ist das Tool-Management-System (TMS) für Werkzeugverwaltung notwendig.

Die Verwendung des Tool-Management-Systems bietet folgende Vorteile [4]:

- **Reduktion der Rüstzeiten**

Mit dem TMS können Rüstzeiten reduziert werden, denn die richtigen Werkzeuge sind stets zur richtigen Zeit am richtigen Ort. Mittels der Software wird erkannt, wo die Werkzeuge sich gerade befinden und welche Werkzeuge für welche Maschinen zur Verfügung stehen. Der steuerungsspezifische Datenaustausch vermeidet Inputfehler an den Maschinen, daher werden auch Rüstzeitkosten reduziert. Durch die Senkung der Rüstzeitkosten erzielt das Unternehmen eine Steigerung der Produktivität.

- **Senkung der Lagerkosten**

Werkzeuge werden automatisiert verwaltet, was zur Folge hat, dass dem Werksleiter stets bewusst ist, welcher Werkzeugtyp wie oft verwendet wird. Beim Erreichen des Werkzeug-Mindestbestandes werden erforderliche Werkzeuge nachbestellt.

- **Erhöhung der Prozesssicherheit**

Die Werkzeugdaten werden lückenlos erfasst und der Prozess wird transparenter gestaltet, was ebenfalls eine Qualitätssteigerung gewährleistet.

- **Maschinenstillstand minimiert**

Durch den Einsatz des Tool-Management-Systems werden Werkzeuge jederzeit überwacht. Zudem sind die Werkzeuge dort wo sie benötigt werden. Darüber hinaus werden die Standzeiten reduziert und das maximale Werkzeugpotenzial ausgenutzt.

- **Gewährleistung der Produktqualität**

Die Prozesssicherheit wird mit Hilfe dieses Systems erhöht und die Prozesse werden transparenter und kontinuierlicher.

- **Reduktion von Werkzeugkosten**

Mit dem Tool-Management-System kann die Verwaltung und Benutzung der Werkzeuge effizienter erfolgen. So können die Ausgaben für Werkzeuge um bis zu 2% reduziert werden. Durch das TMS kann beispielsweise auch die Anzahl der erforderlichen Werkzeuge berechnet werden, damit die Gesamtkapazität von Werkzeugen optimal benutzt werden.

# 2 Stand der Technik

In diesem Kapitel wird im ersten Abschnitt die Architektur der modernen IT-Landschaft beschrieben. *Abschnitt 2.1* erläutert wesentliche Informationssysteme, z.B. das ERP-System und Manufacturing-Execution-System (MES) sowie ihre zugehörigen Schnittstellen. In *Abschnitt 2.2* wird über das Tool-Management-System, dessen Normen, und dessen Funktionalität diskutiert. Im *Abschnitt 2.3* werden der Standardablauf und die möglichen Herausforderungen bei der Softwareeinführung dargestellt. Schließlich wird in *Abschnitt 2.4* die Standardisierung der Prozesse und Abläufe beschrieben. Lean Management, zugehörige Tools und Maßnahmen werden in diesem Abschnitt vorgestellt und die reibungslose Einführung eines Projekts bzw. Prozesses diskutiert. Die Vorteile der Einhaltung der 5S wird ebenfalls beschrieben. Es wird die mögliche Ressourcenineffizienz berücksichtigt und erörtert, wie während der Einführung des Tool-Management-Systems Fehler und Verschwendung von Ressourcen vermieden werden können. In diesem Abschnitt werden auch Begriffe wie Poka Joke, Muda, Mura und Muri erläutert.

## 2.1 Die moderne IT-Landschaft

In den letzten zehn Jahren hat das Alltagsleben durch die Entstehung neuartiger Informations- und Kommunikationstechnologie (ICT) eine grundlegende Transformation erlebt. Anlagen kommunizieren miteinander in einem globalen Netzwerk, dem Internet. Diese Entwicklung hat bereits begonnen die industrielle Produktion zu erfassen, die künftig zunehmend von den Fortschritten der ICT und der Informatik profitieren wird. Industrie 4.0 ist ein Schlagwort für die Umwandlung heutiger Fabriken zu den so genannten „Smart Factories“, die der aktuellen Herausforderung von kürzeren Produktlebenszyklen, stark kundenspezifischen Produkten und hartem globalen Wettbewerb besser begegnen können. Eine hohe Produktvariabilität und ein kürzerer Produktlebenszyklus erfordern eine flexible Fertigungsstruktur, die sehr schnell an neue Produktherstellungsanforderungen angepasst werden kann. Diese Stufe von Flexibilität kann nicht mit heutigen, traditionellen Automatisierungskonzepten, sondern nur durch in die modulare Fabrikstruktur einbezogene Smartanlagen erzielt werden; diese Smartanlagen werden „Cyber Physical Systems“ (CPS) genannt. Durch die Vernetzung kann die Komplexität von Planungs- und Produktionsprozessen minimiert werden. Der Blick auf die Industrie 4.0 zeigt, dass durch die Vernetzung von Produktionssystemen mit Netzwerk-Monitoring in einem Unternehmen eine wesentlich höhere Flexibilität und Anwendbarkeit ermöglicht wird. Nach der 4. Industrierevolution benötigen Unternehmen neue IT-Methoden und IT-Architekturen für ihre Produktentwicklung. Idealerweise unterstützen dynamische Netzwerkstrukturen sowohl die technische als auch die organisatorische Ebene eines Unternehmens gleichzeitig. Das Ziel der Industrie 4.0 ist, die ERP-

Systeme, MES, die Fertigung und den Shop Floor von einer vertikalen zur einer horizontalen Integration zu führen [1].

### 2.1.1 ERP, MES, PDM

Im Folgenden werden die Technologie sowie verschiedene Bausteine der industriellen Informationssysteme und deren Zusammenwirken dargestellt. Ein Informationssystem bzw. ein Anwendungssystem ist ein ausgestaltetes System zur Erfassung, Ordnung, Speicherung und Kommunikation von Informationen. *Abbildung 1* stellt eine Automatisierungspyramide dar, in der drei angeordnete Ebenen der industriellen Informationssysteme zu sehen sind. Auf Unternehmensebene werden ERP-Systeme angewandt. Auf Betriebsleitebene werden MES-Systeme verwendet und für die Prozess- bzw. Produktionsebene (Shop Floor) beispielsweise MDE, BDE, CAQ [5].

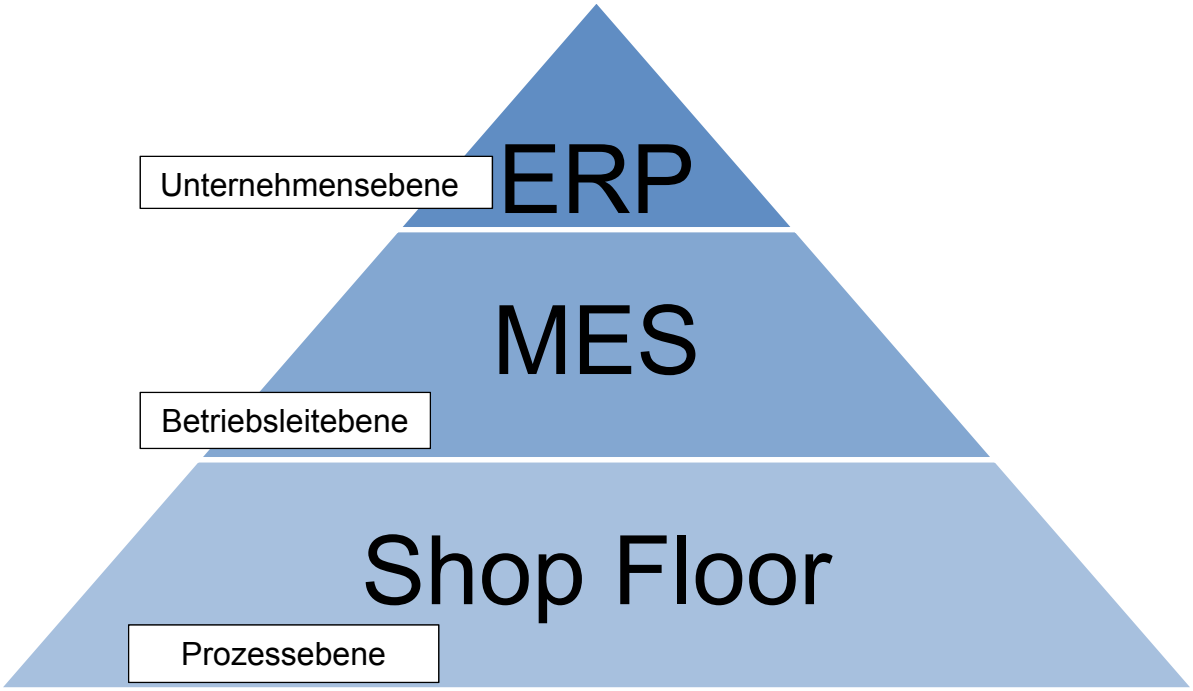


*Abbildung 1: Automatisierungspyramide*

Im Folgenden werden die wesentlichen Arten industrieller Informationssysteme beschrieben:

- **Enterprise Resource Planning (ERP)** :

Enterprise Resource Planning ist eine betriebswirtschaftliche Standardanwendungssoftware. ERP-Systeme unterstützen Funktionen, die zur operativen Bearbeitung normaler Geschäftstransaktionen erforderlich sind, beispielsweise die Verfassung von Bestellungen, Aufträgen, Durchführung der Lohn- und Gehaltsabrechnung usw. Sie sind vom Managementinformationssystem abgegrenzt, die für die Unterstützung der Analyse von Daten benutzt werden können,

z.B. für Kundenumsatzanalysen. ERP-Systeme unterstützen mit Hilfe einer zentralen Datenbank betriebswirtschaftliche Prozesse eines Unternehmens, wie zum Beispiel solche im Finanzwesen, Controlling und der Produktionsplanung bzw. -steuerung, Logistik etc. Ein Vorteil dieser integrierten Informationssysteme liegt darin, dass die ERP-Systeme durch die Verwendung der zentralen Datenbank den Zugriff auf Stammdaten und Vertriebsdaten (z.B. Kundenstammsätze) ermöglichen. Deshalb kann jeder Bereich eines Unternehmens durch eine effiziente Bereitstellung der notwendigen Informationen seine Produktivität erhöhen. Durch dieses integrierte System werden auf erforderliche Informationen wie die Verfügbarkeit von Rohmaterialien oder den Waren- und Werkzeugmindestbestand zugegriffen. Das bedeutet, dass jederzeit die Größe von Lagerbeständen in der Logistik und der Materialwirtschaft eingepflegt und bei Bedarf aktualisiert werden kann. Dadurch werden neue Produktionsaufträge schneller initiiert. ERP-Systeme verwalten betriebswirtschaftliche Funktionen, die von verschiedenen Mitarbeitern in verschiedenen Bereichen und sogar Niederlassungen verwendet werden. Deshalb erfordert dies eine Schichtarchitektur, die normalerweise in Form des Client-Server-Prinzips bzw. einer Aufteilung der Bearbeitung und Datenspeicherung erzielt wird. Die ERP-Systeme funktionieren transaktionsorientiert, zur Unterstützung von Geschäftsvorfällen bieten ERP-Systeme also eine Reihe von Transaktionen an. Außerdem müssen Benutzer eine betriebswirtschaftliche Anwendungssoftware, unabhängig von technischen Einsatzfragen, bearbeiten können. Verschiedene Unternehmen, wie beispielsweise SAP, bieten solche ERP-Systeme an. Im Jahr 1972 wurde die Firma SAP („Software, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung“) gegründet, um eine betriebswirtschaftliche Standardanwendungssoftware zu entwickeln. Die erste entwickelte Standardsoftware war 1972 SAP R/1 für den Bereich Finanzbuchhaltung. Das Nachfolgeprodukt SAP R/2 hat als SAPs erstes ERP-System breite Marktakzeptanz erlangt. Das wesentliche Prinzip von SAP-Systemen ist eine dreistufige Client-Server-Architektur (Datenbankserver zur Speicherung von betriebswirtschaftlichen Daten, Applikationsserver zur Bearbeitung von betriebswirtschaftlicher Funktionalität und Präsentationsserver), die auf unterschiedlicher Hardware und unterschiedlichen Systemen benutzt werden kann [6].

- **MES: Manufacturing Execution System**

Das Manufacturing Execution System ist ein Fertigungsmanagementsystem bzw. ein Betriebsmanagementsystem. Mit Hilfe eines MES können alle Einzelsysteme, wie z. B. die Betriebsdatenerfassung MDE/BDE, Produktionsplanung und -steuerung PPS & CAQ, zu einem System integriert werden und so Insellösungen vermieden werden. MES sind Standardsoftwaresysteme, die für die Bearbeitung von industriellen Fertigungsdaten gestaltet wurden. Zudem unterstützen sie die Produktionsprozesse und Logistikprozesse. Mit Hilfe von MES können alle Produktionsschritte mit höherer

Transparenz und Flexibilität sowie besserer Planung und Organisation vereint werden. Dadurch können Auftragsbearbeitungen von ERP-Systemen mit der Workflowebene vernetzt werden. Potentiale dieser Integration sind aus Managementsicht (von ERP) die Transparenz und eine hochaktuelle Informationsbereitstellung für Produktionsprozesse. Die Anwendung dieser Potentiale ermöglicht transparente Produktions- und Logistikprozesse, sowie eine Qualitätserhöhung und hohe Verfügbarkeit von Produktionsmitteln.

Im Folgenden wird die Funktion des MES beschrieben. Aufträge werden von einem ERP-System in ein MES übertragen, in dem die Aufträge geplant und bearbeitet werden können. Beispielsweise werden Zeichnungs- und Qualitätsdaten von Aufträgen sowie Bestandinformationen übertragen und in eine zentrale Datenbank gespeichert. Der Vorteil eines MES ist, dass die Planung durchgängig aktualisiert wird und jeder Prozess nachvollziehbar ist. Durch das MES können ebenfalls die Betriebsmittel und ihre Verfügbarkeit überwacht bzw. verwaltet werden. Zudem wird der termingerechte Einsatz von erforderlichen Arbeitskräften sichergestellt. Trotz der oben beschriebenen Vorteile entstehen einige Nachteile, wie zum Beispiel eine hohe Arbeitsverdichtung, Meldebelastungen und ein hoher bürokratischer Aufwand. Durch die Einführung von Softwarelösungen im Rahmen der Industrie 4.0 könnten die genannten Nachteile verringert werden [7], [8].

- **Product Data Management (PDM) und Product Lifecycle Management (PLM) Systems**

Product Life Cycle Management ist ein Unternehmenskonzept zur Informationsintegration von Produkten im Laufe von Lebenszyklen, von der Produktentwicklung bis zum Entsorgen. PLM beschäftigt sich sowohl mit dem Unternehmensprodukt als auch mit der Integration von allen Produktionsbereichen. Da am globalen Markt sehr viel Wettbewerb herrscht, werden Anforderungen eines Unternehmens während der Produktion ständig verändert. Diese Änderungen werden nicht nur im Bereich Konstruktion getroffen, sondern auch in anderen relevanten Bereichen wie z.B. Produktion, Vertrieb usw. Diese Änderungen müssen dokumentiert bzw. verwaltet werden, damit eine ungesteuerte und unkontrollierte Entwicklung vermieden wird und Prozesse transparenter und effizienter gestaltet werden können [9], [10].

Die folgenden Systeme unterstützen Simulations- und Visualisierungstechniken:

- **Computer Aided Design System (CAD)**

Mit CAD-Software werden Produktzeichnungen gestaltet, bei der Herstellung eines Produktes unterstützt dies Konstruktionsaufgaben. Heutzutage werden 2D- und 3D-Zeichnungen verwendet.

- **Computer Aided Manufacturing System (CAM)**

Zur Erstellung von NC-Codes wird das CAM-System verwendet.

Im Rahmen der Industrie 4.0 muss berücksichtigt werden, dass neue Anforderungen auch neue Geschäftsmodelle erfordern. Aufgrund dieser neuen Anforderungen und den sich daraus ergebenden Geschäftsmodellen müssen ebenfalls Änderungen in den ERP-Systemen und MES vorgenommen werden, um diese neuen Geschäftsmodelle effizienter zu unterstützen. Die neuen Geschäftsmodelle können im Bereich Fertigung eingeführt werden. Die Industrie 4.0 führt zu einer Änderung im MES, deshalb wird die Datenbearbeitung und die Datenspeicherung direkt am Shop Floor bzw. im Fertigungsbereich ausgerichtet. Dadurch werden im Rahmen der Produktionsplanung die Werkzeugdaten und Werkstückdaten bzw. Stammdaten transparenter und effizienter erfasst und es kann durch die Verwendung von Automatisierungstechniken eine Integration zwischen dem MES und den Maschinen bzw. Anlagen herstellt werden, was zu Flexibilität und damit zu Wertschöpfungssteigerung führt. Dadurch wird außerdem eine Reduktion der Rüstzeiten erreicht [6].

Im Allgemeinen unterstützt die moderne IT-Landschaft wesentlich die Qualität, Reaktionsgeschwindigkeit und Lieferfähigkeit. Jedoch reduzieren die Lager- und Umlaufbestände und Verschwendung den Rüstaufwand und im Endeffekt die Durchlaufzeit. Mit Hilfe der neuen Softwarelösungen wird die vertikale und horizontale Integration zwischen Fertigungs- und Unternehmensebenen verstärkt.

### 2.1.2 Schnittstellen

Wie in *Abschnitt 2.1.1* beschrieben wurde, ist die wirtschaftliche Globalisierung und Internationalisierung der Geschäftstätigkeiten ein wesentlicher Faktor bei der nationalen und internationalen Integration von Lieferanten, Partnern und Kunden, um das Ziel integrierter Lieferketten zu erreichen. Diese Integration benötigt Schnittstellen zwischen Prozessen und Komponenten eines Systems. Schnittstellen ermöglichen digitalen Daten- bzw. Informationsaustausch zwischen verschiedenen Systemkomponenten (Prozessen, Maschinen, Anlagen) und miteinander kommunizierenden Systemen. Prof. Dr.-Ing. Joachim Milberg behauptet: “Die Notwendigkeit zur Standardisierung von Schnittstellen ergibt sich aus der Vielzahl zu koordinierender Hardware- und Softwarelieferanten und aus dem Bestreben, bei der Realisierung von Systemkopplungen Abhängigkeiten zu reduzieren und Mehrfacharbeiten zu vermeiden.“ *Abbildung 2* zeigt die Gliederung in Hardwareschnittstellen und Softwareschnittstellen an [6], [11], [12].

Prof. Dr.-Ing. Joachim Milberg hat im Buch „Von CAD/CAM zu CIM“ Schnittstellen Folgendes erläutert: „Für den konkreten Datenaustausch zwischen Applikationen sind verschiedene Realisierungen zu beobachten. Im einfachsten Fall erfolgt die Kopplung

zwischen zwei Systemen über formatierte Dateien. Dieses Vorgehen hat den Nachteil, dass für jedes System speziell ein Datenkonvertierter für jedes Zielsystem erstellt werden muss. Bei der Vielzahl der Applikationen ist damit kein allgemeingültiges Konzept zu erreichen. Um den Aufwand zu reduzieren, sind bezüglich der Konvertierungsprozessoren umfangreiche Standardisierungsbemühungen zu beobachten. Mit Hilfe dieser Prozessoren wird dabei eine rechnerinterne Darstellung in eine andere über das neutrale Zwischenformat der Schnittstelle überführt (Siehe *Abbildung 3*). Als Nachteil ist dennoch der hohe Aufwand an speziellen Zwischendateien und die durch die Redundanz der Daten entstehende Inkonsistenz zu sehen. Als umfassenden Schritt in Richtung Integration ist die Verknüpfung über Datenbanken anzustreben. Im Bereich der CAx-Applikationen herrscht derzeit jedoch das Dateikonzept vor. Verknüpfungen zwischen den Anwendungen werden in der Regel über formatierte Dateien hergestellt, falls diese mit Hilfe von standardisierten Kopplungsprozessoren realisiert werden [11].“

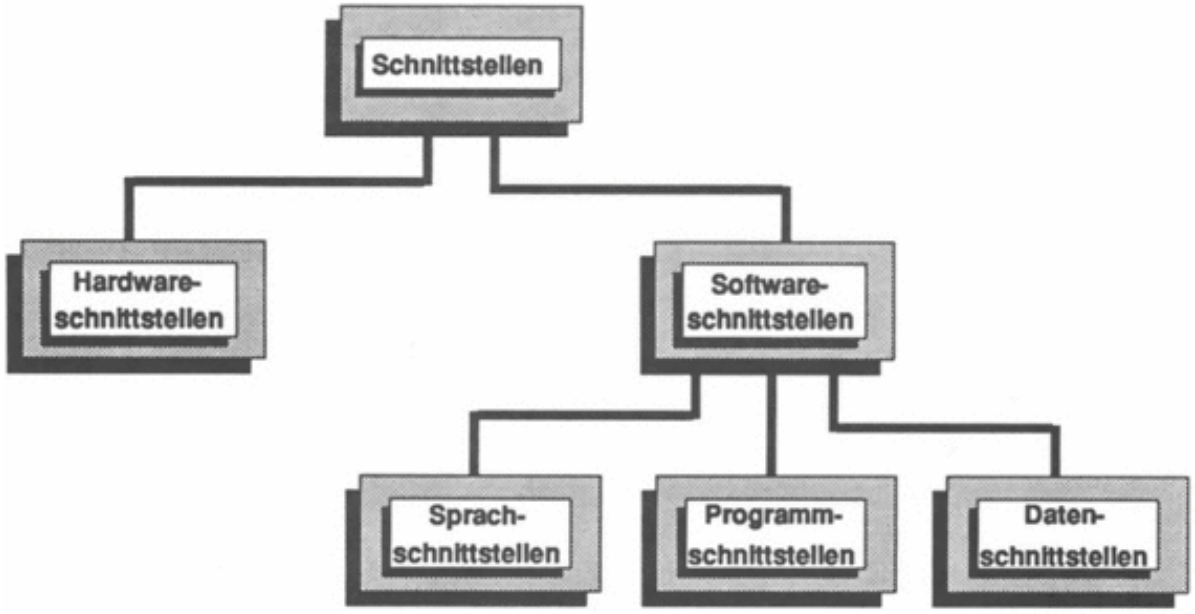


*Abbildung 2: Gliederung von Schnittstellen* [12]

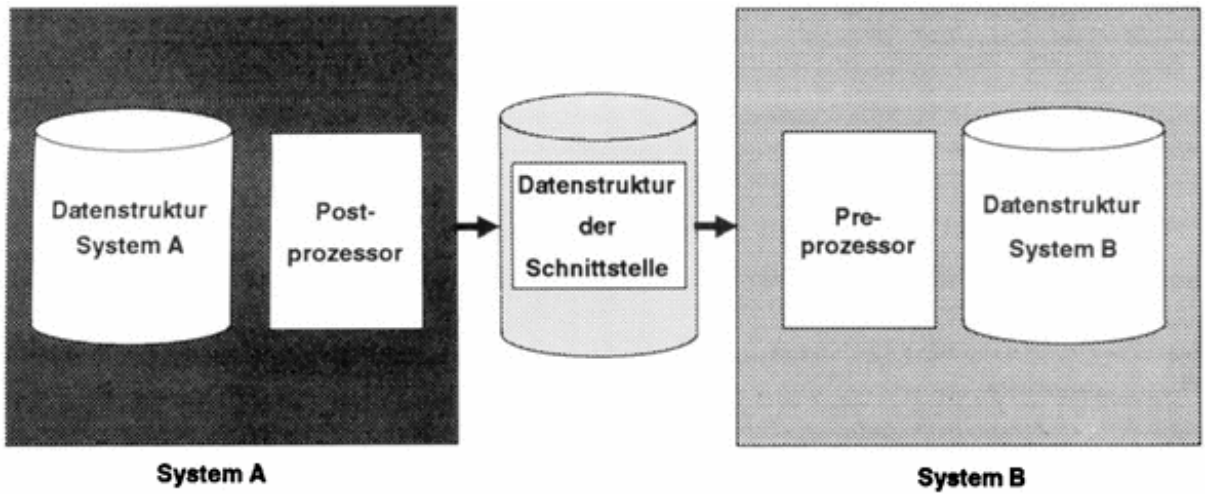


*Abbildung 3: Vernetzung unterschiedlicher Komponenten rechnerintegrierter Produktion* [11]

- **Standardschnittstelle**

Neben vielen anwendungs- und unternehmensspezifischen neutralen Schnittstellen wird heutzutage sowohl in nationalen als auch internationalen Kommissionen an der Definition von neutralen Datenaustauschformaten gearbeitet. Die Diskussionen wurden bis zum Jahre 1984 überwiegend auf nationaler Ebene geführt. In den USA wurde unter der Federführung des National Bureau of Standards die Schnittstelle IGES (Initial Graphics Exchange Specification) entwickelt. Frankreich hat sich unter der Aufsicht des Flugzeugkonzerns Aerospatiale mit dem Format SET befasst. Zudem wurde in Deutschland vom Verband der Automobilindustrie (VDA) die VDAFS (VDA-Schnittstelle) geschaffen. Für die obengenannten Schnittstellenprotokolle stellen die meisten Systemhersteller auch die notwendigen Prozessoren zur Verfügung. Wie beschrieben, können derzeit zur Lösung der aktuellen Datenaustauschprobleme folgende drei neutrale Schnittstellen eingesetzt werden [11]:

- IGES Version 3.0 bzw. Version 4.0.
- SET Version 1.1.
- VDAFS Version 2.1.

Diese Schnittstellen werden sowohl zum Datenaustausch zwischen verschiedenen CAD-Systemen als auch zwischen CAD-Systemen und den weiterverarbeitenden CAx-Systemen (CAP, CAQ, etc.) eingesetzt. Die IGES-Schnittstelle ist die derzeit am häufigsten eingesetzte Schnittstelle.

## 2.2 Das Tool-Management-System

Der wachsende globale Wettbewerb und die damit einhergehenden steigenden Kosten führen zu erhöhter Komplexität der Produktentwicklung und des Produktlebenszyklus. Produktänderungen und der generelle technologische Fortschritt tragen zu dieser

Entwicklung bei. Durch den intensiven Wettbewerb müssen Produkte Marktanforderungen kosteneffizient erfüllen und gleichzeitig hohe Qualität liefern. Daher ist eine systematische Planung unverzichtbar. Um einen Wettbewerbsvorteil für das Wachstum an Märkten zu erreichen, spielen kürzere Entwicklungszeiten und feststellbare Kostensenkungen eine entscheidende Rolle. Mittlerweile ist das Tool-Management-System eine der funktionalsten Möglichkeiten, um die Flexibilität von Fertigungssystemen zu erhöhen und damit kürzere Entwicklungszeiten zu erreichen. Mit Hilfe eines Tool-Management-Systems gelingt eine Produktivitätssteigerung durch die Integration bzw. Vernetzung von Fertigungssystemen (Logistik, ERP-, CAD-, Einkaufsabteilung etc.). Das Tool-Management ist eine Softwarelösung zur individuellen Prozessunterstützung (ähnlich dem ERP-System) [13], [14].

Eine einheitliche Schnittstellengestaltung, hardware- und softwarebasierte funktionelle, physikalische Zusammenhänge sowie direkte Auswirkungen auf die Architektur müssen berücksichtigt werden, um zwischen funktionaler Integration und Abtrennung zu unterscheiden. Bei der Gestaltung einer IT-Architektur muss der Designer die folgenden Herausforderungen berücksichtigen[13]:

- einheitliche Schnittstellengestaltung (hardware- und softwarebasiert)
- stabile modulare Gestaltung
- Minimierung erforderlicher Module
- maximale Standardisierung für künftige Versionen
- Verringerung der Anzahl erforderlicher Schnittstellen
- homogene Strukturierung, unabhängig von beteiligten Technologien

Zur Evaluierung der Softwareanbieter im Rahmen des Einführungsprojektes sollten die oben beschriebenen Punkte berücksichtigt werden. Durch eine Tool-Management-Software kann die Werkzeugverwaltung automatisiert werden, was eine Erhöhung der Produktivität und Verfügbarkeit, und gleichzeitig eine Reduktion der Stillstandzeiten zur Folge hat.

### 2.2.1 Normen (VDI)

Durch Normen werden Anforderungen an Produkte, Verfahren und Dienstleistungen festgelegt, zudem sichern sie die Qualität und vereinfachen die Verwaltung. Das Tool-Management gehört zur Gruppe der „Fertigungsleitebene“ und unterstützt besonders das MES, aber auch das PLM-System. In den letzten Jahren spielte das MES eine entscheidende Rolle in der Produktion. Das MES beschäftigt sich besonders mit der vertikalen Integration und vernetzt Maschinensteuerungen mit Systemen der Unternehmensleitebene. In Bezug auf das MES stehen verschiedene VDI-Normen zur Verfügung, damit die Funktionen und Definitionen des MES eindeutig festgelegt werden. Die *Tabelle 1* zeigt die VDI-Normen des MES an [15]:

| Normen | Ausgabedatum | Status |
|---|---|---|
| VDI 5600 Blatt 4<br>Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems - MES) - Unterstützung von Produktionssystemen durch MES | 2012-10 | |
| VDI 5600 Blatt 2<br>Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems - MES) – Wirtschaftlichkeit | 2013-03 | |
| VDI 5600 Blatt 3<br>Fertigungsmanagementsysteme- Logische Schnittstellen zur Maschinen- Und Anlagensteuerung | 2013-07 | |
| VDI 5600 Blatt 5<br>Fertigungsmanagementsysteme- Neue Optimierungsansätze | 2015-03 | |
| VDI 5600 Blatt 6<br>Fertigungsmanagementsysteme- Energiemanagement mit MES | 2016-06 | Entwurf |
| VDI 5600 Blatt 1<br>Fertigungsmanagementsysteme | 2016-10 | |
| VDI 5600 Blatt 8<br>Fertigungsmanagementsysteme; MES und Industrie 4.0 | | Projekt |

*Tabelle 1: VDI-Normen für MES* [15]

Im Fachausschuss wurde die Richtlinie VDI 5600 Blatt 1 erarbeitet, welche die Aufgaben und den Nutzen des MES in einer „anwendungsnahen“ Form beschreibt. Im Januar 2016 wurde VDI 5600 Blatt 1 veröffentlicht. Diese Norm stellt einen Leitfaden für Entscheider (Geschäftsführer und Produktionsleiter, IT, Materialwirtschaft, Qualität, Wartung, Personal, Controlling), Prozessverantwortliche und Anwender (wie Ablaufplanung, Logistik, Auftragssteuerung, Produktionsplanung, Produktion, Qualitätssicherungen usw.), die Beteiligten bei der Auswahl und Umsetzung mit ihren besonderen technischen Besonderheiten ( z.B. Projektmanager, sowie interne und externe Dienstleister), sowie Anbieter von Software, Hardware und Integrationslösungen dar. Der Standard bietet eine aufgabenorientierte Beschreibung des MES und dessen Einsatzmöglichkeiten. Der Fokus dieser Norm ist es, einen Überblick über die MES-Funktionen und Vorteile zu bieten. Bezüglich der Industrie 4.0 und MES wird die Richtlinie VDI 5600 im April 2018 erscheinen und erläutern, wie neue Technologien die Prozesse in der Produktion verändern können und welche Rolle das MES dabei einnehmen kann [15].

### 2.2.2 Standardarbeitsablauf im Tool-Management-System [14]

Um ein Werkstück effizient zu produzieren, ist ein prozessübergreifender Informationsaustausch nötig. Daten müssen zusammengeführt und zwischen verschiedenen Systemen ausgetauscht werden. Die benötigten Werkzeuge müssen ausgewählt und die Produktionsprozesse überwacht werden. Das bedeutet, dass alle

fertigungsrelevanten Merkmale berücksichtigt werden müssen und die Verfügbarkeit der Werkzeuge an den Maschinen sichergestellt werden muss. Das Tool-Management-System integriert sich in alle Produktionsschritte und verbindet die erfassten Werkzeuge mit den umschließenden Systemen. Deshalb können Werkzeuge von Anfang an effizient ausgewählt, eingeplant und verwaltet werden.

Konkret kann die Umsetzung also folgendermaßen aussehen: Ein Auftrag von einem Kunden wird mit allen relevanten Details, wie zum Beispiel der Stückzahl und den Fertigungsterminen, zum Fertigen der Produkte im ERP-System erfasst. Dieser Auftrag wird als Produktionsauftrag automatisch an das PLM-System weitergeleitet und die Konstruktion wird begonnen. Derzeit kann der Konstrukteur neue Werkstücke in seinem CAD-Programm konstruieren. Die Werkzeuginformationen spielen in der Konstruktionsphase eine entscheidende Rolle, weshalb der Konstrukteur über die Tool-Management-Software beim Design prüfen kann, ob für jeden Bearbeitungsschritt die passenden Werkzeuge angelegt und verfügbar sind. Deshalb kann bereits bei der Konstruktion der spätere Fertigungsaufwand wesentlich verringert und eine schnelle Bearbeitung sichergestellt werden.

Auf dieser Basis kann die NC-Programmierung direkt erstellt werden. Die geeigneten Werkzeuge werden für jeden Betrieb ausgesucht und als Komplettsatz für jeden Bearbeitungsschritt geladen. Diese stehen dann als exakte 3D-Modelle mit den zugehörigen Werkzeugparametern und Technologiedaten zur Verfügung und der Prozess kann bereits simuliert werden. Im Voraus kann der NC-Programmierer prüfen, ob sich die Werkzeuge, die er einplant, im Lager oder bereits an der Maschine befinden. Wenn die Simulation abgeschlossen ist, werden die erforderlichen Werkzeuge in einer Liste zusammengefasst, anschließend in das Tool-Management-System importiert und wird für die weitere Fertigung zur Verfügung gestellt. Die Planungsdaten können bereits an die Fertigung übermittelt werden.

Danach wird der Auftrag in die Maschinenbelegung eingeplant. Mit dem Tool-Management-System wird auch hier jederzeit der Überblick behalten. Das Tool-Management-System reserviert die Werkzeuge für einen Auftrag und berücksichtigt die Standzeit und den aktuellen Bestand an der Maschine. Auch werden nur die erforderlichen Werkzeuge für den Auftrag vorbereitet, welche mit Hilfe des Tool-Management-Systems rechtzeitig an der Maschine bereitgestellt sind. Zudem werden fehlende Werkzeuge über das Tool-Management-System aus dem Lager angefordert und die Komponenten für die eingeplante Maschine direkt auf die Kostenstelle reserviert. Außerdem wird die Voreinstellung der Werkzeuge mit Daten aus dem Tool-Management-System durchgeführt. Die gemessenen Ist-Werte von Werkzeugen werden erfasst und an die Werkzeugmaschine weitergegeben. So gelangt das einsatzbereite Werkzeug an die Maschinen und die Produktion kann zeitnah gestartet

werden. Durch die exakte Planung werden die Rüstzeiten minimiert, die Maschinenstillstände reduziert und die Produktivität gesteigert.

## 2.3 Herangehensweise bei Softwareeinführung-Projekten

In diesem Abschnitt wird die standardisierte Herangehensweise in der Softwareeinführung beschrieben. Erst wird das Projekt aus Sicht der Norm ISO 21500:2012 definiert. Die ISO 21500:2012 beschreibt ein Projekt als eine „einzigartige Menge von zielgerichteten Prozessen, die aus koordinierten und kontrollierten Aktivitäten mit definierten Anfangs- und Endzeiten bestehen. Die Zielerreichung erfordert spezifischen Anforderungen genügende Ergebnisse und kann mehreren in Norm beschriebenen Einschränkungen wie z.B. Fristen, Kosten, Ressourcen usw. unterliegen“ [16].

Die folgenden Eigenschaften von Projekten werden charakterisiert [17], [18], [19]:

- Bedeutung und Einmaligkeit des Projekts
- Klare Zielvereinbarung und Risikoeinschätzung
- Projektspezifische Organisation
- Komplexität und Umfang des Projekts
- Endlichkeit und zeitliche Befristung
- Begrenzte Ressourcen
- Interdisziplinarität und bereichsübergreifende Zusammenarbeit
- Abgrenzung des Projektes gegenüber anderen Vorhaben

Die Einführung von Software wird durch das Projektmanagement ermöglicht. Mit Hilfe des Projektmanagements wird die Anwendung von Methoden, Werkzeugen, Techniken und Fähigkeiten in einem Projekt festgelegt. Im ersten Schritt müssen Projekte geplant werden, damit der Projektablauf in zeitlicher und ressourcenbezogener Hinsicht abgebildet wird. Es entstehen verschiedene Normen für das Projektmanagement.

*Tabelle 2* listet einige gültige Normen für das Projektmanagement seit 2009 auf [18]:

| Norm | Titel |
|---|---|
| DIN 69900 | Projektmanagement-Netzplantechnik-Beschreibungen und Begriffe |
| DIN 69901-1 | Projektmanagement-Projektmanagementsysteme-Teil 1: Grundlagen |
| DIN 69901-2 | Projektmanagement-Projektmanagementsysteme-Teil 2: Prozesse, Prozessmodell |
| DIN 69901-3 | Projektmanagement-Projektmanagementsysteme-Teil 3: Methoden |
| DIN 69901-4 | Projektmanagement-Projektmanagementsysteme-Teil 4: Daten, Datenmodell |

| | |
|---|---|
| DIN 69901-5 | Projektmanagement-Projektmanagementsysteme-Teil 5: Begriffe |
| ISO 21500 | Guidance on Project Management (2016) |

*Tabelle 2: Gültige Normen für das Projektmanagement*

Ein IT-Projektmanagement beschreibt grundsätzlich, wie Methoden, Werkzeuge, Techniken und Fähigkeiten in einem Projekt zum Einsatz kommen und wo die Ziele in der Erstellung und Anwendung von Informationslösungen liegen. Bei der Entwicklung von Softwaresystemen spielt vorwiegend die Auswahl und der Einsatz geeigneter Hardware eine entscheidende Rolle. Zum Beispiel wird zur Konzeption und Abwicklung mobiler Anwendungen nicht nur Software, sondern ebenso ein umfassendes IT-Projektmanagement benötigt. Die folgenden weiteren Punkte spielen bei Einführung und Evaluierung von Software eine entscheidende Rolle [17]:

- **Projektplanung, -steuerung und -überwachung**

Die allgemeine Aufgabe der Projektplanung beinhaltet die Erhebung aller mittelbaren und unmittelbaren Projektaktivitäten, die zur Erreichung des Projektziels erforderlich sind. Unter Projektplanung wird die systematische Informationsgewinnung über den zukünftigen Ablauf eines einmaligen Vorhabens samt gedanklicher Vorwegnahme des für das Erreichen seiner Ziele notwendigen Handelns festgestellt. Innerhalb der Projektplanung wird ein Projektplan erstellt; es soll zudem eine Reihe von Zielen erfüllt werden. Einerseits sollen realistische Zielvorgaben innerhalb ihrer Fristen umgesetzt werden, andererseits werden die Ressourcennutzung und die zulässigen Kosten berechnet. Die Gesamtergebnisse der Projektplanung führen zu einer Aktualisierung oder Revision des Projektdesigns. Die Hauptaufgabe der Projektsteuerung und -überwachung besteht in der Sicherstellung einer wirtschaftlichen sowie anforderungs- und termingerechten Implementierung des Projektes. Mittels eines Soll-Ist-Vergleichs werden die von der Projektplanung vorgegebenen Sollvorgaben überprüft, wodurch je nach Bedarf Abweichungen identifiziert werden können. Um Abweichungen in der Durchführung zu korrigieren werden Maßnahmen in Verbindung mit der Projektüberwachung erarbeitet und durch die Projektsteuerung eingeleitet [17].

Jochen Schwarze hat in dem Buch „Projektmanagement mit Netzplantechnik“ Projektsteuerung und –überwachung definiert [20]: „Die Projektsteuerung und die damit einhergehende Projektüberwachung durch das Projektmanagement dient der Sicherstellung der planmäßigen und wirtschaftlichen Realisierung eines Projektes.“

- **Projektorganisation**

Die Projektorganisation stellt strukturelle Fragen des Projektmanagements dar, besonders wie zeitlich befristete Projekte im bestehenden Organisationsaufbau eingeteilt werden können und wie Projekte intern zu strukturieren sind [17].

DIN 69901 definiert die Projektorganisation folgendermaßen [16]: „Die Projektorganisation dient der Gesamtheit der Anordnungen und Regeln, durch welche zum einen die Verteilung der zur Durchführung eines Projektes erforderlichen Aufbau, Befugnisse und Verantwortung auf Aufgabenträger sowie zum anderen deren gegenseitige Abstimmung und Koordination festgelegt wird."

- **Definition eines Projektteams**

Die Auswahl eines geeigneten Projektteams ist für Projekte erfolgsentscheidend, da lediglich durch sie das Erreichen der Projektziele ermöglicht wird. Neben der Auswahl der Projektmitglieder muss je nach Projektorganisation auch der verfügbare Zeitraum betrachtet werden, um eine kontinuierliche Teilnahme am Projekt zu gewährleisten. In diesem Zusammenhang spielt gute Teamarbeit innerhalb des Projekts sowie die Bewältigung auftretender Teamkonflikte eine entscheidende Rolle. Die Anzahl der Projektmitglieder hängt vom Projektumfang und den geforderten Spezialisierungsrichtungen ab. Mitglieder werden anhand ihrer Eigenschaften wie beispielsweise Motivation, Sozialkompetenz oder Kreativität ausgewählt. Vom Projektleiter werden die folgenden Eigenschaften erwartet: Erfahrung im Projektmanagement und mit zugehörigen Methoden und Konzepten, grundsätzliche Fachkenntnis in Bezug auf den Projektgegenstand, fachliche Kenntnisse in den Bereichen Betriebswirtschaftslehre, Rechnungswesen Organisation und Planungsmethodik, Entscheidungsfähigkeit usw. [17].

- **Aufgaben des Projektmanagements**

Die Entwicklung eines umfassenden methodischen Rahmens ist normalerweise nicht möglich, da die Aufgabengebiete vom Projektmanagement hochkomplex sind. Trotzdem bilden die vom Project Management Institute (PMI) aufgestellten Projektmanagementdisziplinen, auch als Wissensfelder des Projektmanagements bezeichnet, einen international anerkannten Standard. Die zehn folgenden Wissensgebiete des PMI-Standards sind „Projektmanagement Body of Knowledge" (PMBOK) [17], [19]:

**Integrationsmanagement**: Durch das Integrationsmanagement werden alle Prozesse erläutert, die zur Koordination und Integration von unterschiedlichen Projekttätigkeiten benötigt werden. Das enthält im Prinzip sowohl die Projektplanentwicklung und -durchführung ebenso wie das Änderungswesen. Zudem ist das Integrationsmanagement für die Abstimmung der Prozesse der anderen Wissensgebiete verantwortlich.

**Inhalt- und Umfangsmanagement (Project Scope Management)**: Die Aufgabe des Umfangsmanagements besteht in der Planung, Überwachung und Steuerung des Projektleistungsfortschritts. Für alle Prozesse müssen erforderliche Projekttätigkeiten beschrieben werden, damit gewünschte Ziele erreicht werden können. Das Inhalt- und

Umfangsmanagement besteht aus Projektinitiierung, Inhalts- und Umfangsplanung sowie die Leistungsdefinition, -bestätigung und -überwachung.

**Zeit- und Terminmanagement**: Zeitmanagement wurde wie folgt definiert: Das Zeitmanagement soll dafür sorgen, dass auch bei bestimmten zeitlichen Einschränkungen, die Lieferfristen im Projektplan, Meilensteine oder Endtermine zeitgerecht eingehalten werden. Die zum Zeitmanagement zugehörigen Tätigkeiten sind die Vorgangsdefinition, Festlegung der Vorgangsfolgen, Abschätzung der Vorgangsdauer, als auch die Terminplanentwicklung und -überwachung .

**Kostenmanagement:** Alle erforderlichen Prozesse werden durch das Kostenmanagement von Anfang bis Ende des Projektes festgelegt und sollen sich innerhalb des geplanten Kostenrahmens bewegen.

**Qualitätsmanagement:** Durch das Qualitätsmanagement werden Qualitätsziele in einem Projekt erreicht (Qualitätsplanung, -sicherung und -lenkung).

**Personalmanagement:** Das Personalmanagement beschäftigt sich im Wesentlichen mit der Auswahl und dem Einsatz geeigneter Projektmitarbeiter, der Projektorganisation und der Teamentwicklung.

**Kommunikationsmanagement:** Durch das Kommunikationsmanagement werden alle Prozesse definiert, die auf die rechtzeitige und sachgerechte Erstellung, Sammlung, Ablage oder Verteilung von Projektinformationen abzielen. Der Aufbau eines Informations- und Berichtswesens, die Informationsverteilung und die Fortschrittsermittlung gehören zu dessen Aufgaben.

**Risikomanagement:** Dieses beinhaltet alle Prozesse, die sich mit der Durchführung der Risikomanagementplanung und Ermittlung von Projektrisiken beschäftigen.

**Beschaffungsmanagement:** Die Aufgaben des Beschaffungsmanagements sind z.B. Beschaffung und Angebotsvorbereitung, Anforderung von Angeboten und Lieferantenauswahl.

**Stakeholder-Management:** Mit Hilfe des Stakeholder-Managements werden Prozesse zur Verfügung gestellt, mit denen unterschiedliche Interessen der Stakeholder besser berücksichtigt werden können, wie z.B. Identifikation und Monitoring von Stakeholdern oder die Vorgehensplanung.

- **Herausforderungen**

Nun werden mögliche Herausforderungen bei der Einführung von Software betrachtet. Da Funktionalität und Qualität eine entscheidende Rolle bei der Auswahl der Software spielen, müssen sie exakt und deutlich definiert und ständig überprüft werden. Diese Faktoren werden bei der Erfassung der Anforderungen als „Leistung“ angenommen.

Die nächste Herausforderung ist das Budget von Projekten. Für jedes Projekt wird ein Budget festgelegt. Projektkosten müssen stetig überwacht und kontrolliert werden, damit sie den definierten Rahmen nicht überschreiten. Mit Hilfe des Meilensteinplans wird jeder Schritt des Projektes mit einem Termin- bzw. Zeitplan festgelegt und limitiert. Ziele müssen in diesem bestimmten Zeitraum ohne Verzögerungen erreicht werden. Als allgemeine Herausforderung werden folglich Zielsetzungen, Ergebnisse und Entscheidungen betrachtet. Das bedeutet, dass erwünschte Zustände Ziele bezeichnen. Die Ergebnisse müssen Ziele erfüllen, damit das Projekt erfolgreich durchgeführt wird.

Eine der größten Herausforderungen bei der Evaluierung und Einführung von Software ist es, Anforderungen festzulegen. Durch technische und fachliche Anforderungen wird die Grundlage für alle Projektaufgaben festgelegt und sollte bereits zu Projektbeginn beschrieben werden. Die Schwerpunkten des Anforderungsmanagements bestehen aus Erhebung, Anpassung und Verwaltung von Anforderungen. Notwendige Aufgaben sind hierbei die Ermittlung, Dokumentation und Abstimmung der Projektanforderungen. Mit Hilfe des Anforderungsmanagements wird nach Möglichkeit die fehlerfreie und effiziente Entwicklung eines Produktes oder einer Dienstleistung erzielt.

Eine Anforderung wird wie folgt beschrieben: Eine Anforderung ist eine Bedingung oder Eigenschaft, die ein System oder eine Person benötigt, um ein Ziel zu erreichen oder ein Problem zu lösen, oder eine Bedingung oder Eigenschaft, die ein System oder eine Systemkomponente haben muss, um einen Vertrag zu erfüllen oder einem Standard, einer Spezifikation oder einem anderen formell auferlegten Dokument gerecht zu werden. Anforderungen stellen den Zusammenhang zwischen dem erfolgreichen Abschluss von IT-Projekten und der Softwareentwicklung, den Eigenschaften und Funktionalitäten einer Software, die auf Kundenwünschen oder bestehenden Aufgabenstellungen basieren, dar. Anforderungen von Softwaresystemen können funktional und nichtfunktional sein. Durch funktionale Anforderungen werden sowohl das Verhalten als auch die Funktionen eines Systems definiert und sein Leistungsumfang ermittelt. Mit Hilfe von nichtfunktionalen Anforderungen werden Möglichketen für funktionale Anforderungen beschrieben und Voraussetzungen und Bedingungen festgelegt, wie z.B. Benutzbarkeit, Zuverlässigkeit oder Wartbarkeit. *Abbildung 4* gibt die Anforderungsarten an [17].

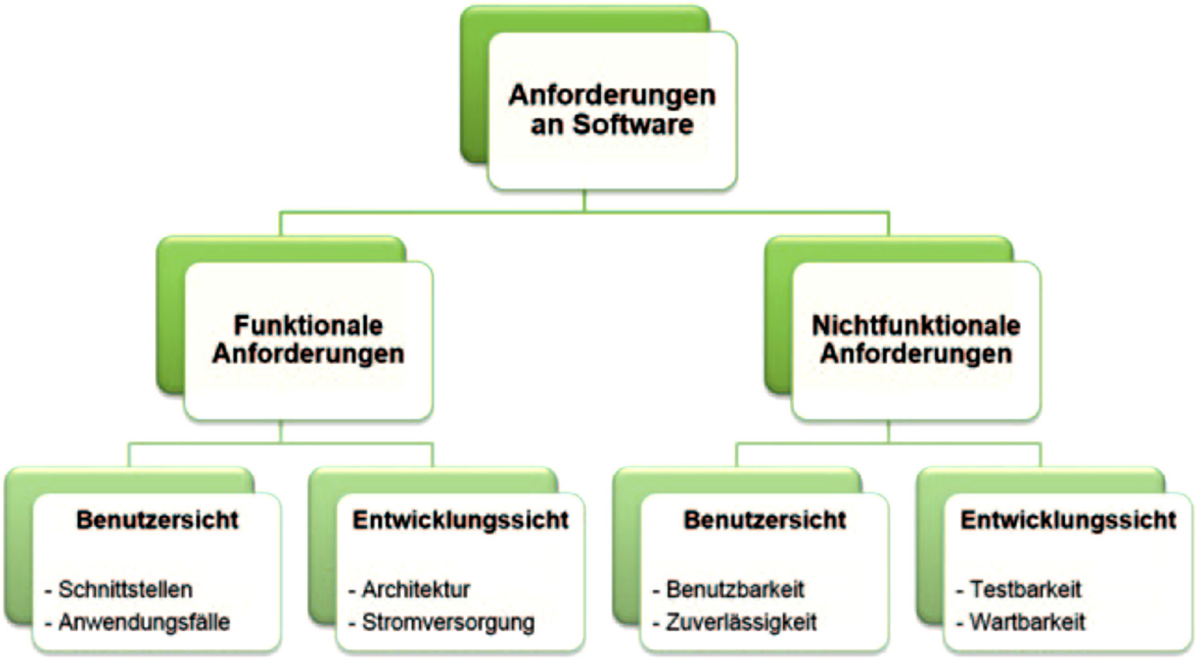


*Abbildung 4: Arten von Anforderungen in der Softwareentwicklung* [17]

Nach der Erfassung und Ermittlung von Anforderungen und Zielen wird ein Lastenheft erstellt. Mit Hilfe eines Lastenheftes werden folgende Ziele erreicht [21]:

- Darstellung der Startposition eines Projektes wie z.B. Ist-Zustand und Ziele
- Beschreibung von Anforderungen, die erfüllt werden müssen
- Sicherstellung der Berücksichtigung wichtiger Themenkreise
- Ermittlung klarer Begrenzungen zum Umfang des Projektes
- Konformität von Art und Umfang der Projektaufgaben

Nach der DIN 69901 beschreibt das Lastenheft die „vom Auftraggeber festgelegte Gesamtheit der Forderungen an die Lieferungen und Leistungen eines Auftragnehmers innerhalb eines Auftrages“ [22]. Nach der DIN 69901 enthält ein Pflichtenheft „vom Auftragnehmer erarbeitete Realisierungsvorgaben auf der Basis des vom Auftraggeber vorgegebenen Lastenheftes.“

Zur Erstellung eines Lastenheftes kann der IEEE Standard 830-1998 zum Einsatz kommen, der den Inhalt und die Qualität einer effizienten Softwareanforderungsspezifikation (SRS) beschreibt, mehrere Beispiel-SRS-Konturen werden vorgestellt. Diese empfohlene Praxis zielt darauf ab, die Anforderungen der zu entwickelnden Software zu spezifizieren, kann aber auch bei der Auswahl von internen und kommerziellen Softwareprodukten angewendet werden. Zudem können auch Richtlinien für die Standardisierung von Software, wie beispielsweise IEEE / EIA Std 12207.1-1997, erfüllt werden [23].

Der Standard DIN 69901-5 wird für das Projektmanagement beziehungsweise für Projektmanagementsysteme verwendet. Folgende VDI-Normen werden zur Evaluierung eines Softwaresystems verwendet [15]:

VDI 2519 Blatt 1: Vorgehensweise bei der Erstellung von Lasten- und Pflichtenheft.

VDI 2519 Blatt 2: Lastenheft/Pflichtenheft für den Einsatz von Förder- und Lagersystem. Unter Anwendung dieser Norm werden technische und wirtschaftliche Anforderungen an Materialfluss- und Automatisierungssysteme definiert und die Zusammenarbeit zwischen Betreiber, Planer und Hersteller vereinfacht.

VDI 3694: Lastenheft und Pflichtenheft für den Einsatz von Automatisierungssystemen. Die Richtlinie stellt die wesentlichen Gesichtspunkte zusammen, die bei der Planung, der Realisierung und dem Betrieb von Automatisierungssystemen von Bedeutung sein können und gibt einen Gliederungsvorschlag für Lasten- und Pflichtenhefte. Die technischen und wirtschaftlichen Anforderungen an das Automatisierungssystem werden ebenfalls festgelegt. Die Zusammenarbeit zwischen Betreiber, Planer und Hersteller wird durch die Anwendung der Richtlinie vereinfacht.

VDI 4403 Blatt 1: Modernisierung und Erweiterung fördertechnischer Anlagen und logistischer Systeme bei laufendem Betrieb. „Die Richtlinie beschreibt die Problematik und Vorgehensweise zur Modernisierung und/oder Erweiterung bestehender fördertechnischer Anlagen und Logistiksysteme bei laufendem Betrieb. Sie zeigt auf, welche Gründe zu einer Modernisierung und/oder Erweiterung führen und welche Maßnahmen für einen erfolgreichen Umstieg von ‚alt' auf ‚neu' erforderlich sind."

VDI 4403 Blatt 2: Modernisierung und Erweiterung fördertechnischer Anlagen und logistischer Systeme bei laufendem Betrieb, Umbau und Erweiterung eines großen Zentrallagers. „Die Richtlinie beschreibt die Problematik und Vorgehensweise zum Umbau und zur Erweiterung bestehender fördertechnischer Anlagen und Logistiksysteme bei laufendem Betrieb. Hierbei kommt der Planung eine besondere Bedeutung zu. Einer der wichtigsten Bestandteile dieser Planung ist die Analyse des Istzustandes und Darstellung der logistischen Engpässe (Schwachstellenanalyse). Das bedeutet, dass das bestehende System hinsichtlich des Zustandes der Einzelfunktionen und der Schnittstellen sehr sorgfältig und genau analysiert werden muss, um darauf die Neuplanung aufzubauen und die Maßnahmen für eine reibungslose Abwicklung zu bestimmen."

Im Allgemeinen werden durch die Verwendung der oben beschriebenen VDI-Normen Anforderungen festgelegt, damit eine geeignete Software ausgewählt werden kann.

## 2.4 Standardisierung der Prozesse und Abläufe

In diesem Abschnitt werden die folgenden Punkte Lean, 5S, Poka Yoke, Muda, Mura und Muri erläutert und ihr Anwendungsbereich sowie ihre Vorteile beschrieben.

### 2.4.1 Lean

1990 haben Womack und Jones mit ihrem Buch „The Machine That Changed the World“ die gesamte produzierende Industrie erschüttert. Die Methoden des Lean Managements sind ab der Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts bei Toyota entstanden. Toyota hat als erstes Unternehmen die Philosophie der „lean production“ eingeführt. Der englische Begriff „lean“ bedeutet auf Deutsch „schlank“. Durch Einführung der Lean Production wird die Eliminierung, oder jedenfalls die Verminderung, von Verschwendung in allen Fertigungsbereichen (Produktentwicklung, Zulieferkette etc.) erzielt, wodurch folgende Effekte erzielt werden [24]:

- Reduktion von Werkflächen und -personal
- Reduktion von Prozessen zwecks Zeiteinsparung
- Verminderung von Fehlern
- Erhöhung der Qualität
- Kostenreduktion

Es lässt sich im Allgemeinen zeigen, dass alle Aktivitäten und Ressourcen die den Wert von Produkten nicht steigern, überflüssig sind und beseitigt werden können. Dies ist ebenfalls für Bestände gültig, die auf Bearbeitung warten. Von Womack und Jones wurden fünf grundsätzliche Lean-Prinzipien festgehalten [24], [25] :

- Wert: Der Wert jedes Arbeitsschrittes ist abhängig von den Kundenbedürfnissen. Das ist gleichbedeutend damit, dass Tätigkeiten, die für Endkunden einen Nutzen darstellen eine Wertsteigerung erreichen.
- Wertstrom: Identifikation jedes Arbeitsschrittes und Eliminierung von Verschwendung
- Fließ-Prinzip: Legt fest, dass Bearbeitung und Bewegung des Produkts in einem Wertstrom während der Fertigung oder Dienstleistung kontinuierlich sein soll.
- Takt-Prinzip: Legt fest, dass eine gleichmäßige Auslastung der Produktion Prozessstörungen vermeidet und zu einem effizienteren Arbeitsfluss führt.
- Pull: Die Philosophie der Fertigung besagt, dass man Produkte oder Dienstleistungen nur zur Verfügung stellen sollte, wenn Kunden diese benötigen. Das bedeutet, dass Fertigungszeit und -menge von der Nachfrage abhängig gemacht wird. Dadurch kann Überproduktion bei der Fertigung vermieden werden.
- Null-Fehler bzw. Perfektion: Das kontinuierliche Streben, nicht-wertschaffende Tätigkeiten zu eliminieren, den Fluss zu verbessern und letztlich Kundenbedürfnisse zu erfüllen. Nachdem Wertströme kundenorientiert gestaltet

werden, wird die Elimination aller unnötigen Tätigkeiten angestrebt, damit der Idealzustand „Null-Fehler“ und „100% Wertschöpfung“ erzielt wird.

Als Lean Toolset kann man Wertstromdesign, 5S bzw. Arbeitsplatzorganisation, Poka Yoke etc., benennen, welche in den folgenden Abschnitten beschrieben werden [26].

### 2.4.2 Wertstromdesign

Wertstromdesign (manchmal mit dem englischen Begriff „value stream mapping“ bezeichnet) stammt aus dem Produktionssystem. Unter „streamlining“ versteht man die Effizienz- und Effektivitätssteigerung eines Systems mittels Einsatz von schnellerer oder einfacherer Arbeitsmethoden. Wertstromdesign bezeichnet die Vereinfachung von Prozessen aus einer End-to-End-Sicht zu vereinfachen. Ein Prozess besteht aus Tätigkeiten, die Wertschöpfung enthalten. Bei diesem Prozess ist es notwendig, drei kritische Managementaufgaben zu erledigen: Problemlösung, Informationsmanagement und physikalisches Management. Daher wird eine visuelle Darstellung der Material- und Informationsflüsse gebildet [25], [26].

Im ersten Schritt wird bei der Wertstromanalyse von Prozessen bzw. von Produktabläufen ein Ist-Zustand erfasst und visuell dargestellt. Danach wird ein Soll-Zustand als Wertstromdesign für einen effizienten, kundenorientierten Produktionsfluss gestaltet.

### 2.4.3 5S

5S ist ein von Takashi Osada stammendes, Anfang der 80er Jahre entwickeltes Konzept. Es ist ein Tool um Umweltqualität, Gesundheit und Sicherheit am Arbeitsplatz zu verbessern. Der Einsatz von 5S ermöglicht jedem Unternehmen, das Potenzial der Qualitätsverbesserung zu identifizieren und die Fähigkeiten und Schwächen jedes Bereichs in einem Unternehmen zu analysieren. In den letzten Jahren wurde 5S häufig in japanischen Unternehmen benutzt, um die menschliche Leistungsfähigkeit und Produktivität zu erhöhen. Das 5S-Programm könnte erheblich die Umweltleistung in der Fertigung erhöhen. Der Großteil von japanischen Unternehmen behauptet, dass 5S sowohl ihre physische Arbeitsumgebung als auch ihre Denkprozesse verbessert hat. Die 5S basieren auf visuellem Management, in dem Abweichungen von Standards sofort erkennbar sein sollen. Das 5S-Programm besteht aus den folgenden Punkten: Sortieren, Saubermachen, Standardisieren, Disziplin und ständige Verbesserung, und Anordnung und Ordentlichkeit. Durch den Einsatz von 5S werden Abläufe klar erkennbar und Fehler werden leichter entdeckt. Dadurch werden Mitarbeiter in ihrer Tätigkeit positiv beeinflusst. Die 5S reduzieren die Suchzeiten und erhöhen Transparenz und Qualität [27], [28], [29].

- **Sortieren (seiri)**

Selten benutzte Dinge, wie z.B. Werkzeuge, Materialen usw., werden entfernt und mit rotem Aufkleber bzw. einer Klammer markiert. Der Arbeitsplatz wird durch Eliminierung von Fehlern standardisiert. Alle unnötigen Gegenstände wie z.B. selten benutzte Werkzeuge werden vom Arbeitsplatz entfernt und häufig benötigte Gegenstände werden sortiert.

- **Anordnung und Ordentlichkeit (seiton)**

Für jeden Artikel wird ein Aufbewahrungsort definiert, jedes Werkzeug an einem fest gekennzeichneten Platz gelagert.

- **Saubermachen (seido)**

Der Arbeitsplatz muss sauber sein. Dadurch wird die Sicherheit erhöht.

- **Standardisieren (Seiketsu)**

Zur Stabilisierung der ersten drei S werden Regeln aufgestellt. Standardisierung ist eine der besten Praktiken am Arbeitsplatz. Durch Standardisierung wird jedes Werkzeug dort bereitgestellt, wo es benötigt wird.

- **Disziplin und ständige Verbesserung (shitsuke)**

Arbeitsplätze und Prozesse werden regelmäßig kontrolliert, um Sauberkeit und Ordnung beizubehalten und Abweichungen zu eliminieren.

### 2.4.4 Poka Yoke

„Poka Yoke“ bedeutet unbeabsichtigte Fehlhandlungen zu vermeiden. Eines der wichtigsten Ziele während der Produktion ist es, in jedem Prozess fehlerfreie Teile zu erzeugen. Dies ist nur möglich, wenn Maschinen und Vorrichtungen so modifiziert werden, dass unerfahrene Arbeiter bestimmte Operationen schon nach kurzer Zeit beherrschen. Poka Yoke ist eine Methode, mit der menschliches Fehlverhalten während der Arbeit vermieden wird. Das Ziel von Poka Yoke ist es, eine fehlerfreie Produktion zu erzielen [24], [30].

Mit Hilfe von Poka Yoke werden Fehler von Arbeitern sofort identifiziert, sodass Fehlhandlungen in Fertigungsprozessen keine Fehler am Endprodukt verursachen. Beispielsweise werden Maschinen so gestaltet, dass Fehlbenutzung verhindert wird. *Abbildung 5* illustriert das Konzept.

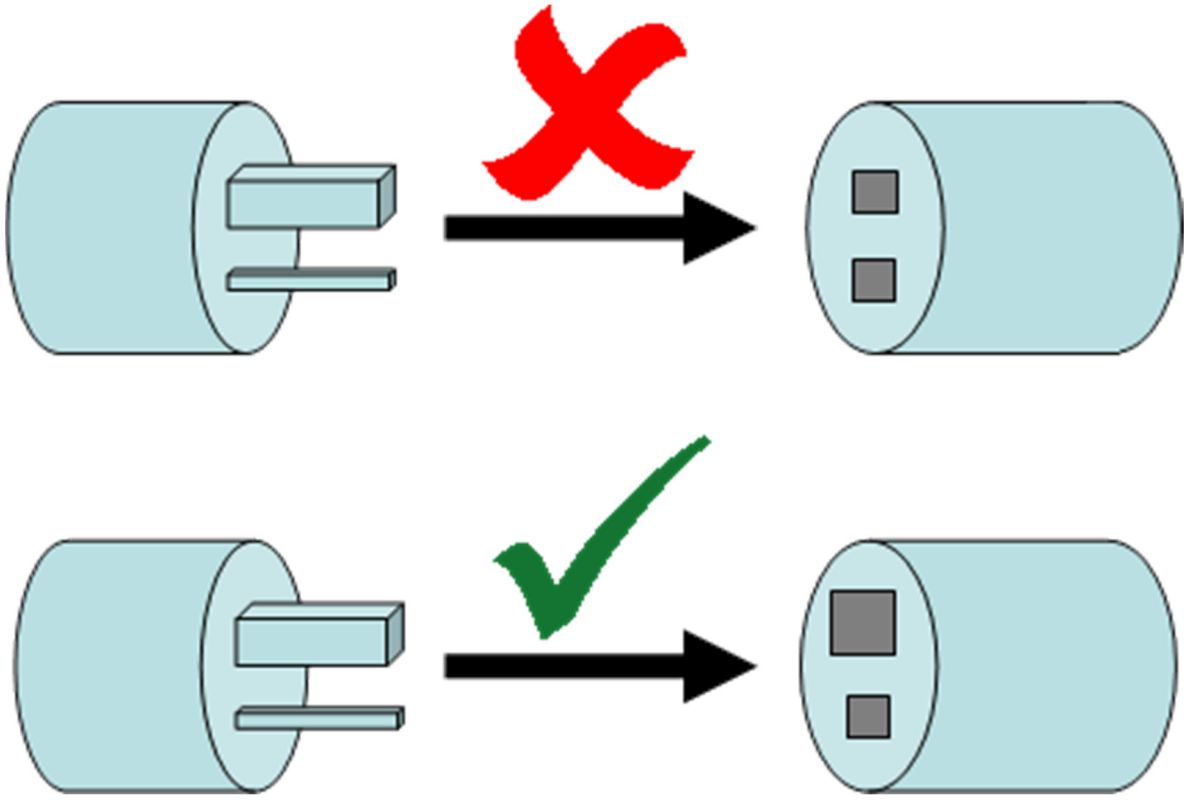

*Abbildung 5: Beispiel für Poka Yoke* [31]

### 2.4.5 Ishikawa-Diagramm

Ein effektives Tool um Fehler und deren Ursachen zu bestimmen ist das Ishikawa-Diagramm (auch Ursache-Wirkung-Diagramm genannt). Ein Problem wird ausgewählt und dann im Team über verschiedene mögliche Ursachen diskutiert. Diese Ursachen werden unter den Hauptgruppen der 6M (Menschen, Maschine, Material, Methode, Umwelt und Messung) klassifiziert und anschließend die entscheidenden beeinflussbaren Ursachen bestimmt. In der Folge beschränkt sich diese Arbeit auf die Darstellung von beeinflussbaren Ursachen, um mögliche Lösungen zu erörtern [28].

### 2.4.6 Muda, Mura, Muri

Um den Wert eines Produktes zu erhöhen ist eine Minimierung der Betriebsmittel, Materialien und der Arbeitszeit nötig. Jeder Aufwand, der über dieses Minimum hinausgeht, wird als Verschwendung bezeichnet, welche zusätzliche Kosten verursacht. Um die Prozesse effizienter zu gestalten, muss die Verschwendung minimiert und maximale Leistungsfähigkeit von Arbeitskräften erreicht werden. Muda wird bei Toyota definiert als „alles außer dem Minimum an Aufwand für Betriebsmittel, Material, Teile, Platz und Arbeitszeit, was für die Wertsteigerung eines Produktes unerlässlich ist“ [24].

Die Menge der Verschwendung wird in sieben Arten aufgeteilt [32]:

1. Überproduktion: Die Produktion über den Bedarf hinaus ist die wesentlichste Art der Verschwendung, die ihrerseits weiteren Formen von Verschwendung verursacht, wie z.B. Doppelhandlung, unproduktive Lagerbestände und unnötiger Transport.
2. Wartezeiten (Leerlauf): Warten auf Werkzeuge oder Material und Überwachungstätigkeiten verursachen unvollständige Auslastung.
3. Unnötig lange Transportwege: Schlechte Produktionsgestaltung führt zu unnötig langen Transportwegen zwischen Lager und Prozessen.
4. Unnötige Bewegung: Wenn Maschinen bzw. Arbeitsplätze nicht optimal gestaltet werden, führt es zu unnötigen Bewegungen.
5. Rework, Reparaturen, Fehler und Defekte: Wenn Prozesse und Arbeitsschritte nicht genau gestaltet wurden, treten Fehler, Rework und Reparatur auf, Prozesse müssen rückgängig gemacht und wiederholt werden.
6. Bestände: Ein zu großer Lagerbestand erhöht die Durchlaufzeit, sowie Transport- und Lagerkosten, zudem veralten Güter. Unnötige Lagerhaltung verursacht Produktionsprobleme in Form von Leerläufen.
7. Überflüssige Bearbeitungsschritte: Aufgrund ungeeigneter Werkzeuge bzw. einer schlechten Produktgestaltung entstehen unnötige Bearbeitungsschritte, also nicht-wertschöpfende Prozesse.

Folgende Konzepte stehen damit in Zusammenhang [28]:

- **Mura (Unbeweglichkeit):**

Unausgeglichenheit und unregelmäßige Produktion, die aufgrund interner Probleme auftritt, muss vermieden werden. Mura gibt Verluste an, die durch fehlende oder unvollständige Verwendung von Kapazitäten entstehen.

- **Muda (Verschwendung):**

Vermeidung von Verschwendung und nicht-werthaltigen Prozessen und Abläufen.

- **Muri (Variabilität):**

Überlastungen von Menschen und Maschinen müssen vermieden werden, wodurch technische Defekte und Ausfälle vermieden werden. Muri stellt Verluste fest, die durch das Überlasten während der Abläufe entstehen (wie z.B. Müdigkeit, Arbeitsunzufriedenheit etc.).

Um diese drei „Mu's" zu eliminieren, werden immer die sechs W-Fragen von Kaizen gestellt und beantwortet [28].

### 2.4.7 Kaizen

Kaizen bedeutet kontinuierliche Verbesserung in kleinen Schritten. Der kontinuierliche Verbesserungsprozess stammt von Kaizen und hilft bei der Qualitätssteigerung, Kostenreduktion und schließlich der Produktivitätssteigerung. Kaizen wird auch als Lösung bei Wartungszeiten oder Rüstzeiten verwendet. Das Ziel von Kaizen ist es, Prozesse zu standardisieren und zu vereinfachen. Die am häufigsten verwendeten Methoden bei der Verbesserung von Arbeitsschritten sind das Pareto- und Ishkawadiagramm. Mit Hilfe des Pareto-diagramms können die Hauptursachen eines Problems von Nebenursachen getrennt werden. Deshalb können Hauptursachen deutlich bestimmt und zweckmäßig behandelt werden [24], [28], [33].

# 3 Vorgehensweise

Um ein Tool-Management-System in der Fräsabteilung einzuführen, müssen gewisse Anforderungen berücksichtigt werden. Ebenfalls sind einige Maßnahmen im CAM-Bereich, sowie in der Fräsabteilung erforderlich, damit das erwünschte Tool-Management-System für jeden Bereich anwendbar wird, d.h. die relevanten Abteilungen müssen an das neue System angepasst werden.

Im ersten Schritt wurde ein Ist-Zustand des gesamten Prozesses aufgenommen, damit die Prozessabläufe analysiert werden konnten. Nach der Analyse wurde ein Soll-Prozess gestaltet; dann mussten IT-, organisatorische, technische und funktionale Anforderungen festgelegt werden. Danach wurde ein Anforderungskatalog erstellt, um TMS-Anbieter zu evaluieren. Außerdem wurde mit TMS-Anbietern Kontakt aufgenommen; es wurden ihnen die Anforderungen mitgeteilt, ihre Lösungen erfragt und überprüft, ob sie die Anforderungen erfüllen können. Dann wurde ein Termin mit den Softwarelösungsanbietern, die die Anforderungen erfüllt haben, vereinbart, damit sie ihr TMS präsentieren konnten. Während ihrer Präsentation wurden die Software-Lösungen basierend auf Qualität der Implementierung, der Unterstützung usw. evaluiert. Jedem Anbieter, der sowohl die Anforderungen als auch die erwünschte Qualität der Unterstützung erfüllt hatte, wurde eine Einführungsstrategie angeboten. Nach der Berücksichtigung der Angebote erhielt ein Anbieter den Zuschlag. Die Schnittstellen zwischen dem Tool-Management-System und relevanter Software, sowie der Meilensteinplan, wurden mit dem Anbieter abgestimmt. Es wurde auch definiert, ob vor der Einführung dieses Tool-Management-Systems eine Standardisierung in relevanten Abteilungen notwendig ist.

Bezüglich der Werkzeugverwaltung musste beispielsweise eine Standardisierung nach DIN4000 eingeführt werden, damit die Identifikationsnummern von Werkzeugen ein einheitliches Format bekommen, wodurch nach der Einführung die Prozesszeit des Werkzeugsuchens verkürzt wird. Bei der Verwendung von 5S werden die Prozesse der Werkzeugvoreinstellungen transparenter und die Sortierung der Werkzeuge wird einfacher. Zudem werden relevante Abteilungen berücksichtigt und erforderliche Maßnahmen durchgeführt.

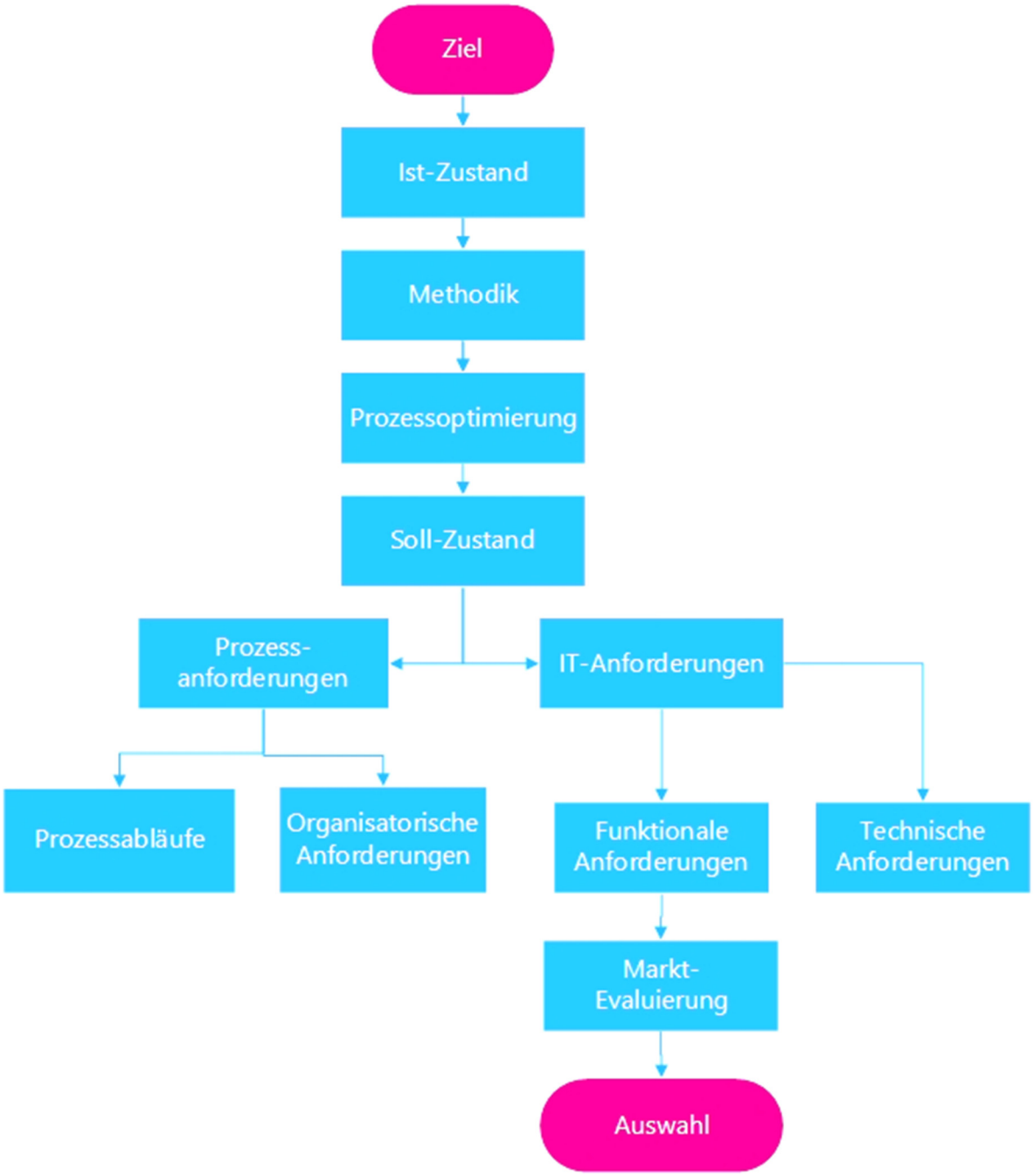


*Abbildung 6: Arbeitsschritte der Evaluierung des TM-Systems*

# 4 Ist-Zustand

Als erster Schritt der Maßnahmen wurde ein Ist-Zustand des gesamten Verlaufs erstellt, damit der Prozessablauf übersichtlich angezeigt wird (siehe *Abbildung 8* bis *Abbildung 13*). Die Visualisierung von Prozessen ermöglicht eine exakte Betrachtung des Gesamtprozesses und der Anforderungen des Unternehmens. Dann wurde der Ablauf von Werkzeugrüsten in der Fräsabteilung betrachtet, in welcher Standardisierungsprozess erforderlich ist (*Abbildung 16*). Danach wurde der Ist-Zustand von Identifikationsnummern der Werkzeuge (*Abschnitt 4.1.2)* erfasst. Dann wurde im *Abschnitt 4.2* sowohl der Ablauf von Werkzeugvoreinstellungen als auch die Prozesszeit von Werkzeugrüsten bei voller Auslastung einer NC-Maschine analysiert.

## 4.1 Ablauf

*Abbildung 7* gibt die Möglichkeiten zum Einsatz eines Werkzeuges an. Hier werden drei Verläufe bei der Verwendung eines Werkzeugs erläutert: Einsatz eines neuen Werkzeugs, Einsatz eines erfassten Werkzeugs und Standardumrüsten.

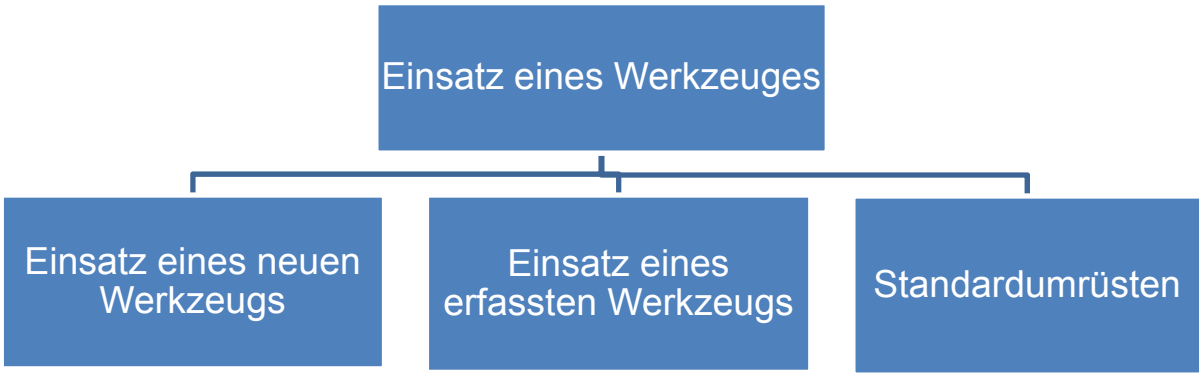


*Abbildung 7: Möglichkeiten zum Einsatz eines Werkzeugs*

- **Einsatz von neuem Werkzeug**

Wenn ein Werkzeug noch nicht in Betrieb genommen wurde, werden Testwerkzeuge entweder durch Vertreter oder als Musterstücke mit dem Herstellerkatalog geliefert. Der Leiter des Bereichs Werkzeugverwaltung fordert dieses Werkzeug an. Danach untersucht der Werkzeugtechniker das neue Werkzeug hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen, bestätigt gegebenenfalls die Konformität und schickt es zur Einkaufsabteilung, von wo es anschließend bestellt wird. Der Schichtleiter und die CAM-Abteilung bekommen die aktuellen Werkzeugdaten vom Werkzeugverwaltungsleiter. Dann muss der Schichtleiter überprüfen, ob eine Tool-Nummer frei ist (da gewisse Ident.-Nr. bereits in Verwendung sind), das Werkzeug bekommt eine Identifikationsnummer und wird in die Werkzeugliste (welche in Form eines Excel-Datenblatts vorliegt) gespeichert. Während der Benennung und

Dateneingabe des Werkzeugs sind das Personal der CAM-Abteilung, der Schichtleiter der Werkzeugverwaltung und die Leitung der Werkzeugverwaltung regelmäßig in Kontakt und stimmen Schnittdaten und Tool-Nummern ab. Dann wird die Identifikationsnummer ins Zoller-Datenbanksystem eingetragen und die Daten werden der CAM-Abteilung mitgeteilt sowie in der HyperMILL-Datenbank gespeichert. Gleichzeitig wird der CAM-Bereich für die Programmierung bereitgestellt und kontrolliert, der Schichtleiter überprüft danach das Werkzeug mittels des Testprogramms auf der CNC-Maschine. Je nach Bedarf wird das Werkzeug weiter überprüft bzw. getestet. Wenn das Werkzeug die Anforderungen erfüllt, werden die Werkzeugdaten durch die Einkaufabteilung in das SAP-System aufgenommen und die Werkzeuge erhalten eine Identifikationsnummer. Danach wird die Identifikationsnummer in das Zoller-Datenbanksystem eingegeben. Die Zoller-Datenbank wird für die Verwaltung von Werkzeugen verwendet und ist kein zentrales Tool-Management-System; es müssen die Werkzeugdaten manuell eingegeben und verwaltet werden. Wenn das Werkzeug die Anforderungen nicht erfüllt, wird es an den Werkzeughersteller zurückgeschickt.

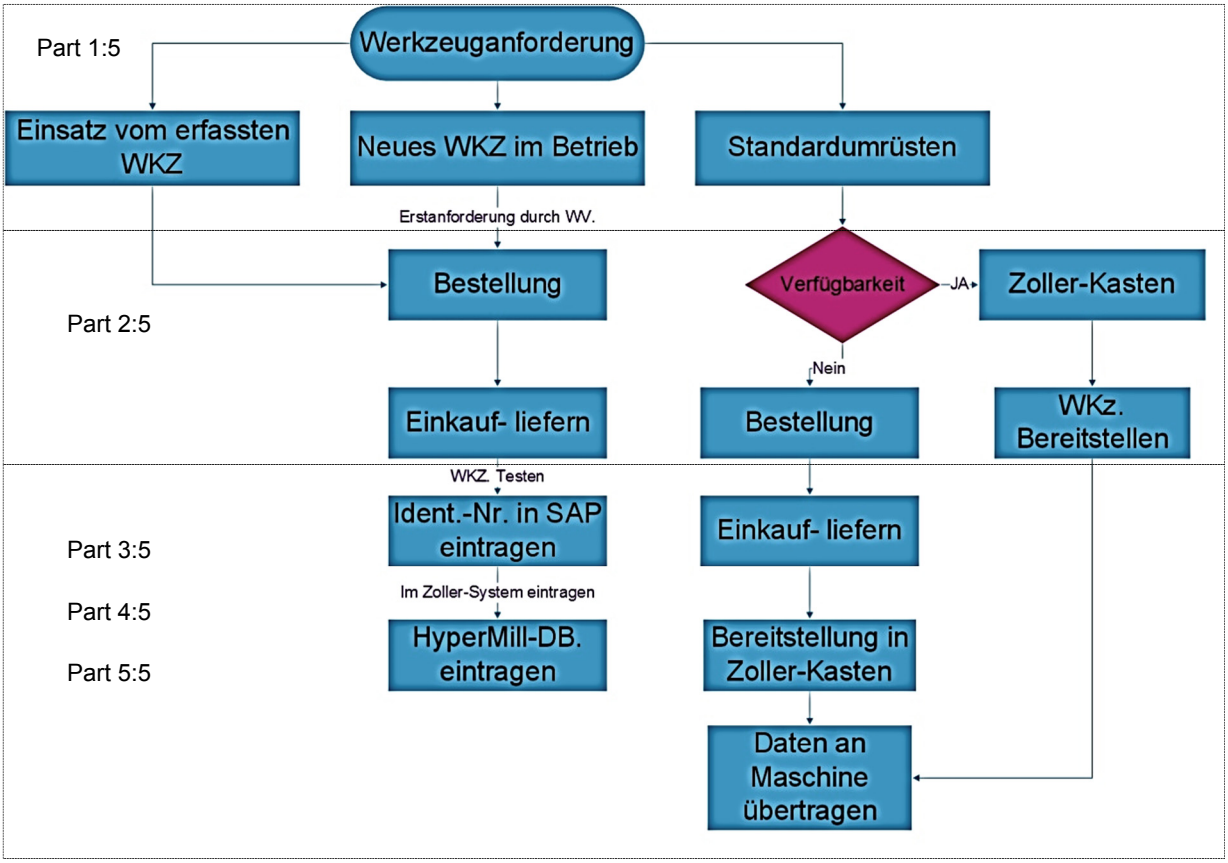


*Abbildung 8: Ist-Zustand der Werkzeuganforderung*

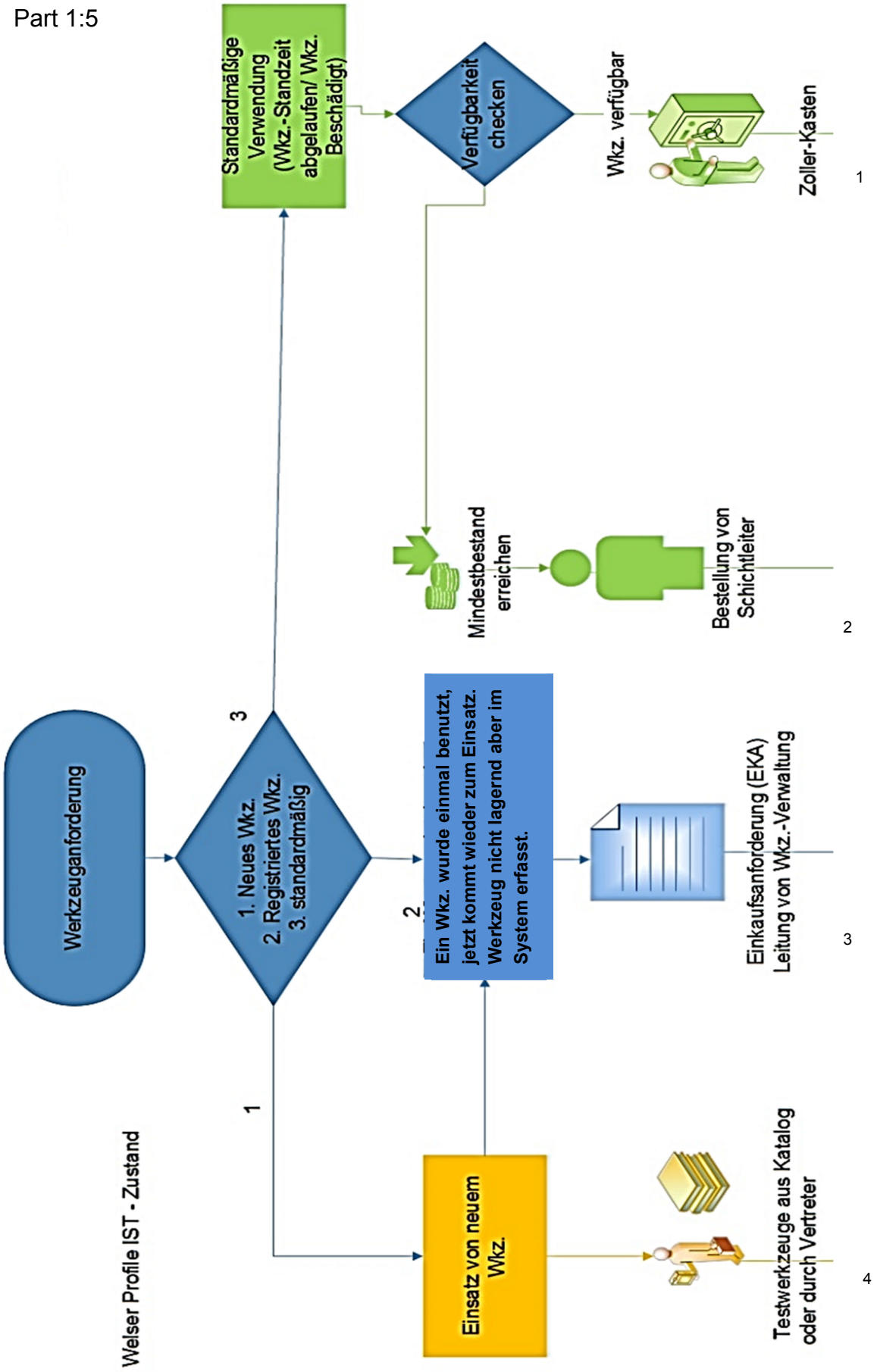


*Abbildung 9: Ist-Zustand der Werkzeuganforderung Part 1:5*

Part 2:5

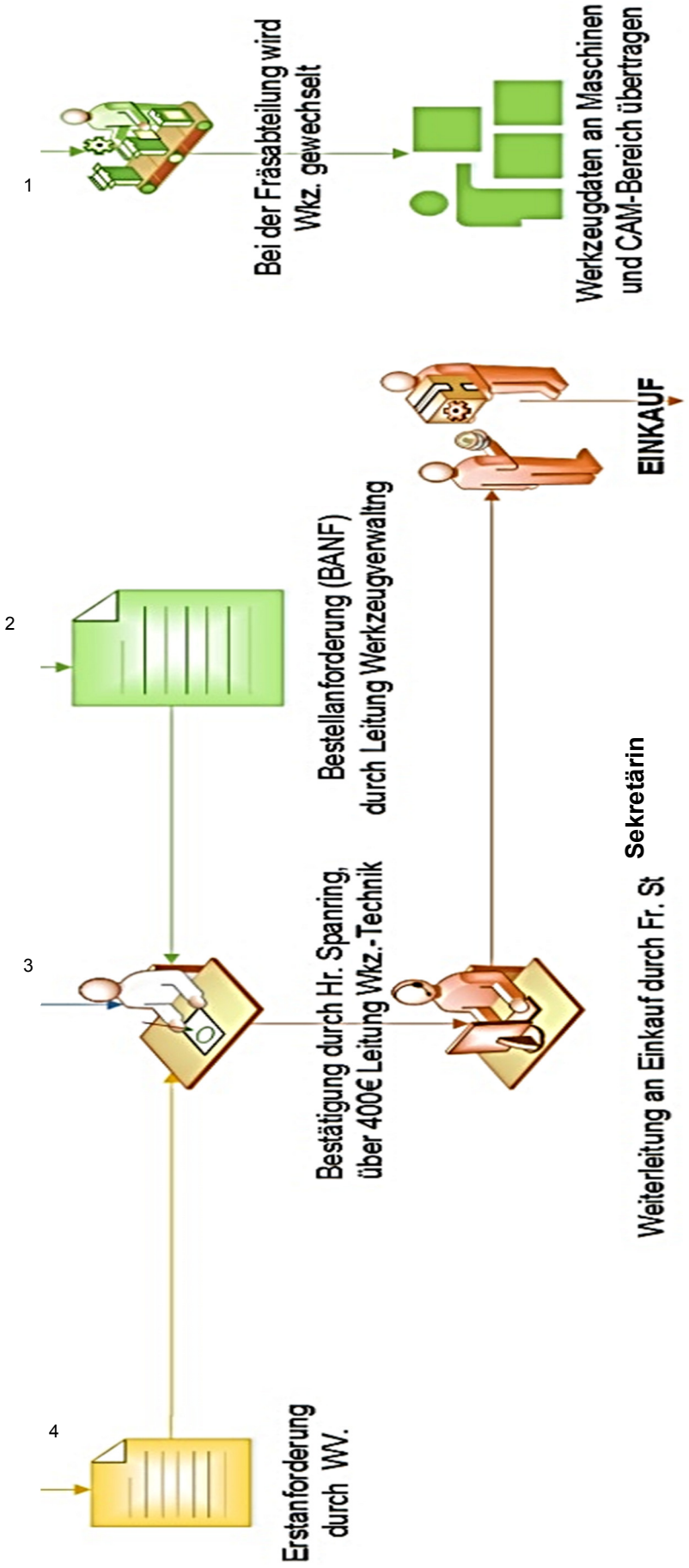


*Abbildung 10: Ist-Zustand der Werkzeuganforderung Part 2:5*

Part 3:5

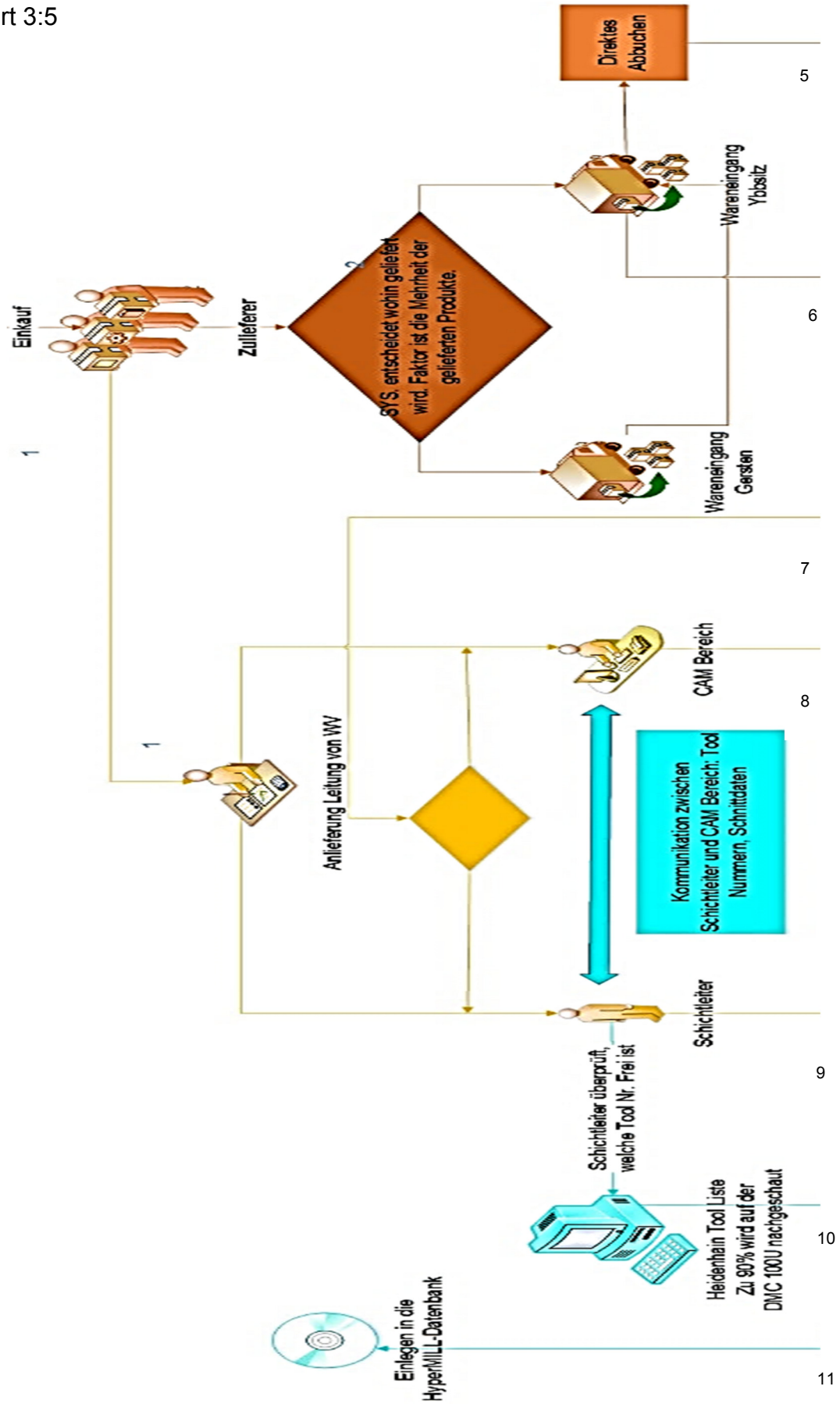


*Abbildung 11: Ist-Zustand der der Werkzeuganforderung Part 3:5*

Part 4:5

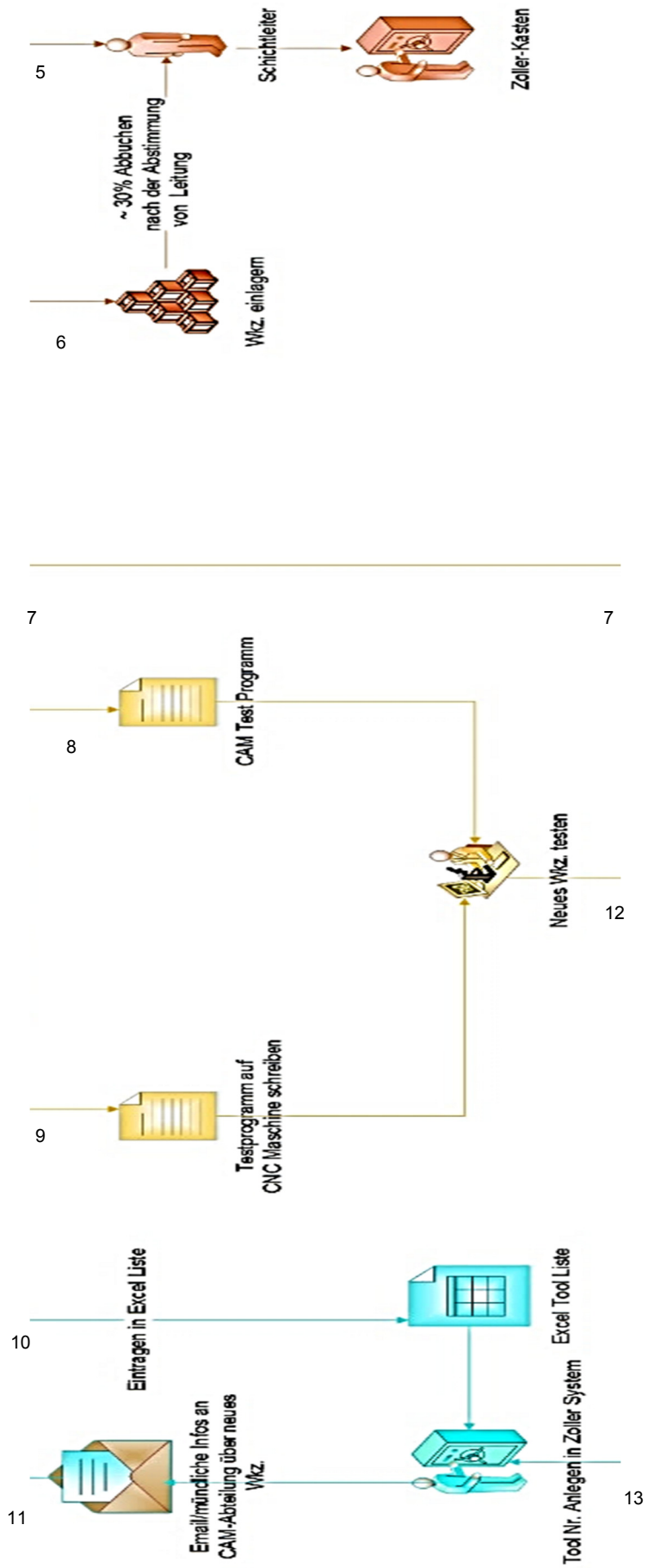


*Abbildung 12: Ist-Zustand der der Werkzeuganforderung Part 4:5*

Part 5:5

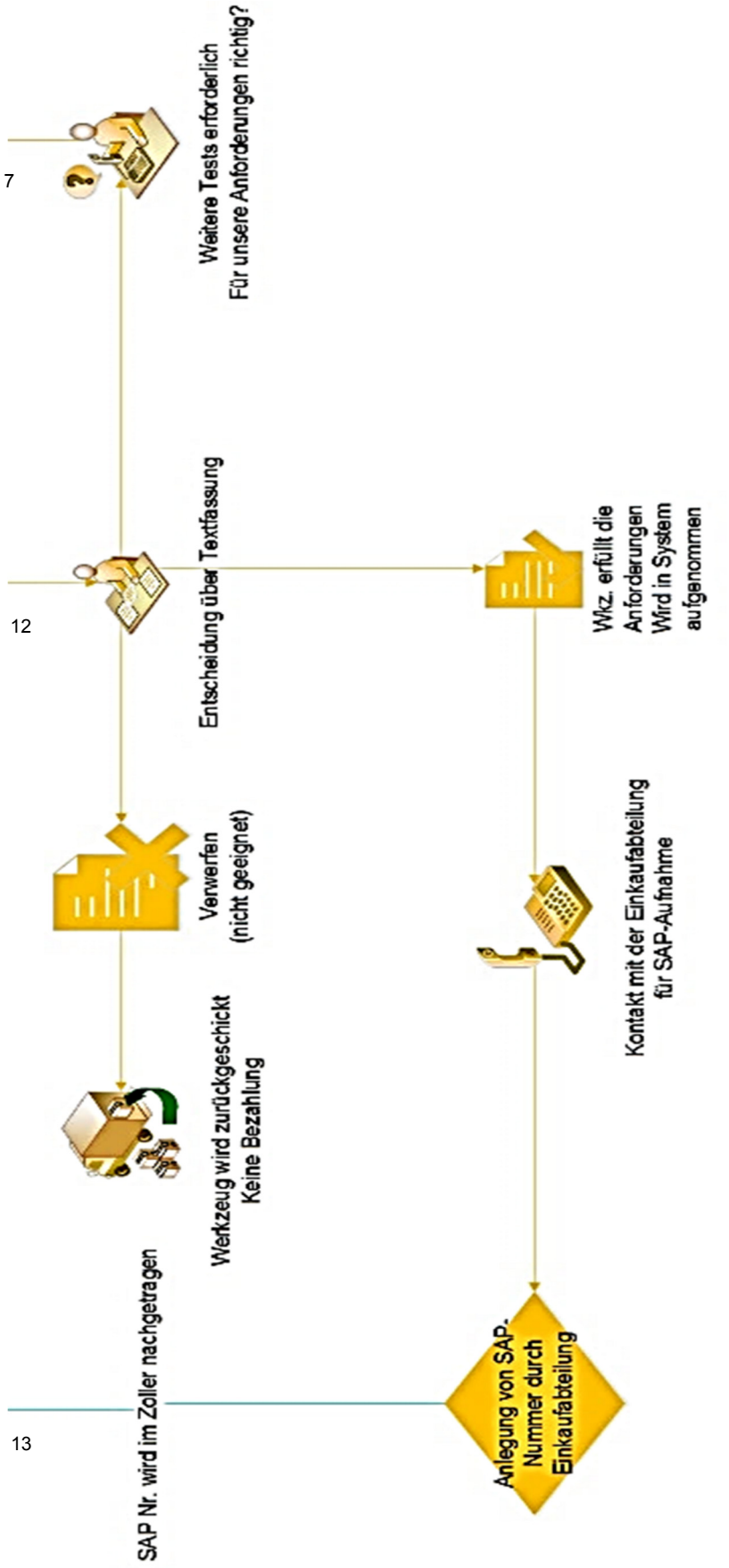


*Abbildung 13: Ist-Zustand der Werkzeuganforderung Part 5:5*

- **Einsatz eines erfassten Werkzeuges (im System)**

Wenn ein Werkzeug bereits eingesetzt wurde, aber nicht mehr im Werkzeuglager verfügbar ist, wurde es im System bereits eingetragen. Es kann passieren, dass der Mindestbestand eines Werkzeugs im Werkzeuglager unterschritten wird. Das hat zur Folge, dass der Werkzeugverwaltungsleiter einen Bestellvorschlag an den Bereich Werkzeugtechnik schickt. Nach der Bestätigung bestellt die Einkaufabteilung das Werkzeug. Das Logistiksystem entscheidet selbst, wohin Werkzeuge geliefert werden. Je nach der Anzahl der Werkzeuge wird zu den Standorten Gresten oder Ybbsitz geliefert. Danach wird es wieder in den sogenannten „Zoller-Kasten“ eingelagert. Zoller-Kästen sind eigentlich Kästen zur Organisation von Werkzeug, die mit Hilfe von Leitsystemen verwaltet werden.

- **Standardumrüsten**

Ein Werkzeug wird umgerüstet, wenn die Werkzeugstandzeit abgelaufen oder das Schneidwerkzeug beschädigt ist. Je nach Art der Schaftausführung des Werkzeugs wird entweder eingeschraubt oder eingeschrumpft. Neues Werkzeug wird aus dem Zoller-Kasten genommen, dann wird es auf Zoller-Messgeräten vermessen und aktuelle Werkzeugdaten an die Maschinen übertragen. Danach wird es im Werkzeugmagazin bereitgestellt (*Abbildung 9* bis *Abbildung 13*).

- **Werkzeug wechseln**

Wenn Werkzeuge regelmäßig verwendet werden, können sie endgültig abgenutzt oder beschädigt werden. Wenn der Mindestbestand eines Werkzeugs nicht erreicht wird, wird es genauso wie im oben genannten Fall durch den Leiter angefordert und bestellt. Wenn ein neues Werkzeug zum Einsatz kommt, werden erst die Werkzeugdaten auf die NC-Maschine übertragen. Nachher wird festgelegt, für welche Maschinen das Werkzeug bereitgestellt wird.

Wenn Werkzeuge brechen oder anderweitig beschädigt werden und nicht mehr in Norm sind, werden sie in einer Schachtel für nicht verwendbare Fräser gesammelt. Wenn Werkzeuge verschlissen sind, werden sie zum Nachschleifen versandt. Nach der Zulieferung überprüft der Schichtleiter, ob das Werkzeug der Norm entspricht. Wenn es in der Norm ist, wird es im Zoller-Kasten für Fräser in der Norm gelagert. Wenn es nicht in der Norm ist, wird wieder nachgeschliffen und kontrolliert. Wenn es trotzdem nicht verwendbar ist, wird in einer Schachtel für zerstörte Fräser entsorgt. Im Folgenden werden der Rüstablauf und die Rüstzeiten eines Werkzeugs betrachtet.

### 4.1.1 Ist-Zustand der Fräsabteilung

Da das Tool-Management-System in der Fräsabteilung eingeführt wird, wird nun der Ist-Zustand dieses Bereichs betrachtet. Wie aus *Abbildung 14* zu entnehmen ist, wird

die Fräsabteilung manuell verwaltet. Die Bezeichnung der Werkzeuge wird noch traditionell und nicht standardisiert durchgeführt. Die Identifikationsnummern der Werkzeuge sind weder verständlich noch entsprechen sie einem einheitlichen Format (*Abbildung 15*).

Bei der Benennung der Werkzeuge wird entweder ihre Herstellerbezeichnung oder ihr Fertigungsverfahren aufgelistet. Werkzeuge bestehen aus zwei Gruppen: Einzelkomponenten und Gesamtkomponenten. Die Gesamtkomponenten bestehen aus Schneidwerkzeug, Werkzeughalter und, bei Bedarf, Verlängerungen und anderem Zubehör. Gerüstete Werkzeuge bzw. Gesamtkomponenten werden folgendermaßen gelagert: Die standardmäßigen Werkzeuge werden in Magazinen von NC-Maschinen oder Werkzeuglagern an den NC-Maschinen bereitgestellt, oder in den Lagern für Gesamtkomponenten bzw. Komplettwerkzeuge der Fräsabteilung gelagert. Wenn ein Werkzeug beschädigt wird oder seine Standzeit abgelaufen ist, muss umgerüstet werden.

Die Einzelkomponenten werden im sogenannten Zoller-Kasten gelagert und Werkzeughalter in Werkzeughalter-Schränken.

*Abbildung 14: Werkzeugkasten des Bereichs Werkzeugverwaltung*

### 4.1.2 Ist-Zustand der Ident.-Nummern von Werkzeugen

*Abbildung 15* zeigt den Ist-Zustand der Ident.-Nummern von Werkzeugen an.

Die Ident.-Nummer und Bezeichnungen der Werkzeuge sind nicht standardisiert und haben kein einheitliches Format. Zudem wurde bei einigen Werkzeugen die Bezeichnung des Herstellers übernommen, was zur Folge hat, dass die Werkzeugbezeichnungen und Ident.-Nr. kompliziert und nicht einheitlich sind.

| T-Nummer | Ident-Nummer | Bezeichnung | T-Nummer 2 |
|---|---|---|---|
| 70 | Kaiser_D41-74_K | Spindelwerkzeug | 0070 |
| 71 | Kaiser_D41-74_M | Spindelwerkzeug | 0071 |
| 73 | MITZUBISHI-D50 | MITZUBISHI-D50-HSK63 | 0073 |
| 74 | Fasenfr | Fasenfraeser | 0074 |
| 75 | HSS-BOH-D15_5 | | 0075 |
| 76 | VHM-Reib-16H7 | Reibahle-D16 | 0076 |
| 77 | HSS-BOH-D17_5 | | 0077 |
| 78 | VHM-Reib-18H7 | Reibahle-D18 | 0078 |
| 79 | HSS-BOH-D19 | | 0079 |
| 80 | VHM-Reib-20H7 | Reibahle-D20 | 0080 |
| 81 | HPC-D4 | HPC Ø4 | 0081 |
| 82 | VHM-SF_5 | VHM- Schlichtfraeser-Ø5 | 0082 |
| 83 | VHM-SF_6 | VHM- Schlichtfraeser-Ø6 | 0083 |
| 84 | HPC-D6 | HPC Ø6 | 0084 |
| 84 | HPC-D6-SK | HPC Ø6- SK40 | 0084-SK |
| 85 | VHM-SF_8 | VHM- Schlichtfraeser-Ø8 | 0085 |
| 86 | HPC-D8 | HPC Ø8 | 0086 |
| 87 | Vielzahn_SF_D6_ALT | Schaftfräser | 0087 |
| 88 | Vielzahn_SF_D10_ALT | Schaftfräser | 0088 |
| 89 | Vielzahn_SF_D12_ALT | Schaftfräser | 0089 |
| 90 | HPC-D10 | HPC Ø10 | 0090 |
| 91 | VHM-SF_10 | VHM- Schlichtfraeser-Ø10 | 0091 |
| 92 | Orion_D10 | 308187_HSK-63 | 0092 |
| 93 | Vielzahn_SF_D8_ALT | Schaftfräser | 0093 |
| 94 | VHM-SF_12 | VHM- Schlichtfraeser-Ø12 | 0094 |
| 95 | HPC-D12 | HPC Ø12 | 0095 |
| 96 | HPC-D5 | HPC Ø5 | 0096 |
| 97 | VHM-SF_K_16 | VHM- Schlichtfraeser-Ø16-Kenna | 0097 |
| 98 | VHM-SF_D16 | VHM- Schlichtfraeser-Ø16 | 0098 |
| 99 | VHM-SF_K_20 | VHM- Schlichtfraeser-Ø20-Kenna | 0099 |
| 100 | HPC-D16 | HPC Ø16 | 0100 |
| 101 | VHM-SF_20 | VHM- Schlichtfraeser-Ø20 | 0101 |
| 102 | Vielz_SF_20-L | Schaftfräser | 0102 |
| 103 | KKF-D3 | KKF-D3-4Schneidig HSK63 | 0103 |
| 104 | Vielzahn-D3 | Vielzahnfraeser-Ø3 (HRC59) HSK63 | 0104 |
| 105 | KKF-D4 | KKF-D4-4Schneidig HSK63 | 0105 |
| 106 | Vielzahn-D4 | Vielzahnfraeser-Ø4 (HRC59) HSK63 | 0106 |
| 107 | KKF-D6 | KKF-D6-4Schneidig HSK63 | 0107 |
| 108 | Vielzahn-D6 | Vielzahnfraeser-Ø6 (HRC59) HSK63 | 0108 |
| 109 | KKF-D8 | KKF-D8-4Schneidig HSK63 | 0109 |
| 110 | Vielzahn-D8 | Vielzahnfraeser-Ø8 (HRC59) HSK63 | 0110 |
| 111 | KKF-D10 | KKF-D10-4Schneidig HSK63 | 0111 |
| 112 | Vielzahn-D10 | Vielzahnfraeser-Ø10 (HRC59) HSK63 | 0112 |

*Abbildung 15: Ist-Zustand der Ident.-Nummern von Werkzeugen*

Beispielsweise beschreibt die Ident.-Nummer des Werkzeuges mit der Nr. 99 in *Abbildung 15* die Schneidstoffart, das Verfahren des Fräsers, den Durchmesser und

beinhaltet die Herstellerbezeichnung. Wenn ein Werkzeug mit denselben Eigenschaften und derselben Geometrie von verschiedenen Herstellern besorgt wird, tragen dieselbe Werkzeuge verschiedene Ident.-Nummer und Bezeichnung. Andererseits beschreibt „Schlichtfräser“ keine Art von Werkzeug, da verschiedene Werkzeuge für die Schlicht-Bearbeitung verwendet werden können. Deshalb sind die aktuellen Ident.-Nummern sowie Bezeichnungen nicht identifizierend und adressierbar, was eine Erhöhung der Werkzeugsuchzeiten verursacht.

| Identifikationsnummer | Bezeichnung |
|---|---|
| VHM-SF_K_20 | VHM, Schlichtfräser, Ø20-Kenna |

## 4.2 Prozesszeit

Der Ist-Prozess von Werkzeugvoreinstellungen wurde berücksichtigt. Dieser läuft wie folgt ab:

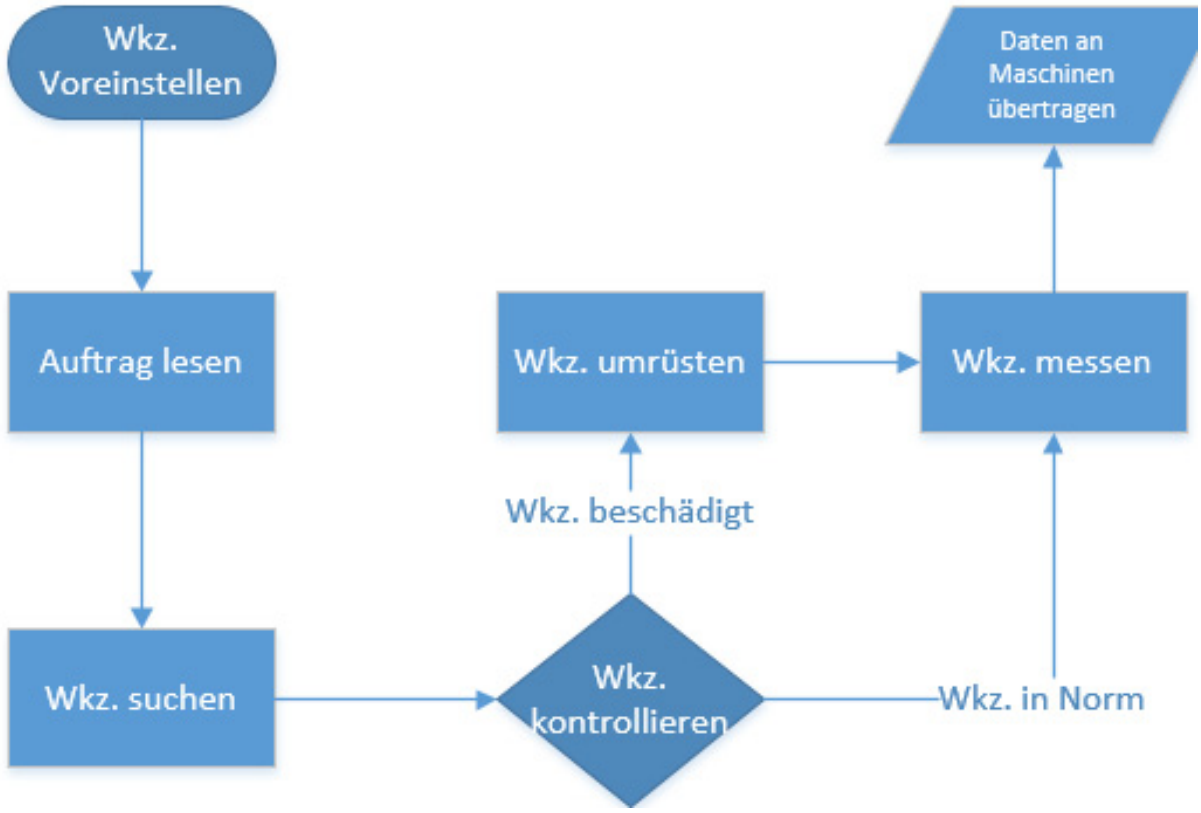


*Abbildung 16: Ablauf von Werkzeugvoreinstellen*

Der CAM-Bereich stellt die Aufträge für die Fräsabteilung zur Verfügung und die erforderlichen Werkzeuge müssen für bestimmte NC-Maschinen bereitgestellt werden. Das Personal des Bereichs Werkzeugverwaltung liest die Aufträge und kontrolliert, ob die erforderlichen Werkzeuge voreingestellt worden sind. Wenn ein Werkzeug im Kasten verfügbar ist, muss die Schneide des gesamten Werkzeugs kontrolliert und gemessen werden. Schließlich werden die neuen Werkzeugdaten an die NC-Maschine

übertragen. Diese werden in etwa 90% der Fällen entweder ausgedruckt und per Hand eingetragen oder durch Computer an Maschinen geschickt. Wenn die Standzeit eines Werkzeugs abgelaufen oder das Werkzeug beschädigt ist, muss das Schneidwerkzeug vor dem Messen gewechselt werden. Die Rüstzeit hängt von verschiedenen Faktoren wie z.B. der Art des Werkzeughalters, des Schneidwerkzeuges und des Umspannverfahrens ab. Die Rüstzeit von Werkzeugen ist unterschiedlich und kann zwischen 10 und 30 Minuten betragen - je nach Produktionsplan. *Tabelle 3* gibt den Ablauf und die Rüstzeit eines Werkzeugs und die Bereitstellung für eine NC-Maschine bei voller Auslastung an.

| Nr. | Ablauf des Rüstens eines Werkzeugs | Zeit [Min.] |
|---|---|---|
| 1 | Auftrag lesen | 4 |
| 2 | Werkzeug suchen | 10 |
| 3 | prüfen und bereitstellen | 1 |
| 4 | Werkzeug ein- & ausspannen | 10 |
| 5 | Werkzeugmessen | 5 |
| 6 | Daten übertragen | 1 |
| 7 | Gesamter Zeitverbrauch | 31 |

*Tabelle 3: Ablauf des Werkzeugrüstens*

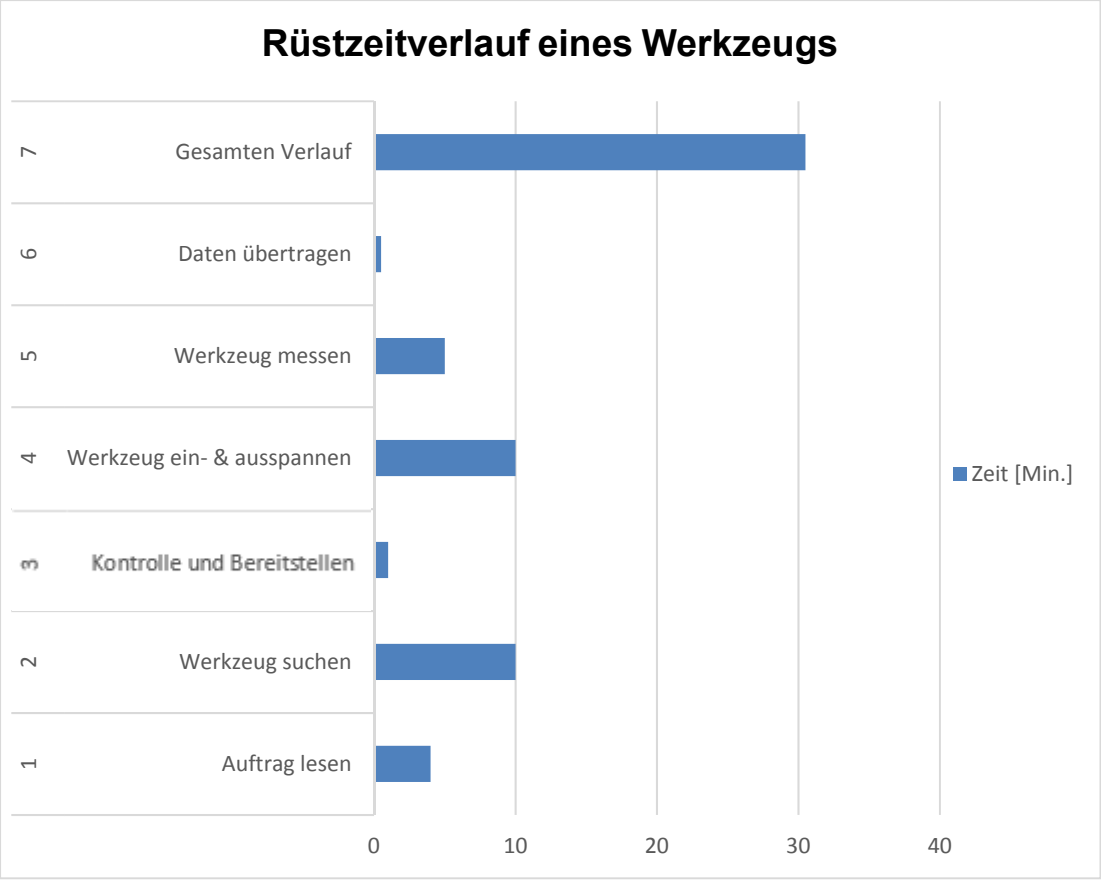


*Abbildung 17: Ist-Prozess und Rüstzeitverlauf eines Werkzeugs*

Wie *Abbildung 17* zu entnehmen ist, ist der Zeitbedarf für das Suchen und Messen von Werkzeugen im Vergleich zu anderen Prozessschritten mit Abstand am höchsten. Aufgrund der traditionellen Gestaltung des Arbeitsablaufes im Bereich Werkzeugverwaltung nimmt das Suchen von Werkzeug viel Zeit in Anspruch; wenn ein Werkzeug an der NC-Maschine bereitgestellt ist, muss das Personal die Maschinenkarte anstelle des Werkzeugs in den Kasten legen, ein Arbeitsschritt der von Arbeitern aufgrund von Faktoren wie Stress oder Müdigkeit manchmal vernachlässigt wird. Zudem können Fehler beim Anlegen der Maschinenkarten auftreten.

# 5 Soll-Zustand

Das Mittel der Wahl um Rüstzeiten zu reduzieren ist, mit Hilfe von Tool-Management-Software die Rüstzeiten von Werkzeugen zu verringern und gleich nach dem Ablauf der CAM-Programmierung erforderliche Werkzeuge bereitzustellen. Durch den Einsatz dieser Software kann ebenso der Werkzeugbestand verwaltet werden. Falls ein Werkzeug, das für die Bearbeitung eingehender Bestellungen notwendig ist, nicht verfügbar ist, können parallel mit der Bearbeitung von CAD/CAM-Prozessen erforderliche Werkzeuge beschafft werden. Einige Arbeitsschritte des Werkzeugrüstens werden mittels dieser Software parallelisiert, um Rüstzeiten zu reduzieren. Um die Software zu evaluieren und Maßnahmen zu implementieren, wurde erst ein Team festgelegt, relevante Abteilungen wurden berücksichtigt und die Anforderungen wurden festgelegt. Es wurde außerdem ein Anforderungskatalog erstellt, mittels welchem die Evaluierung der Softwareanbieter möglich war.

## 5.1 Definition der Projektmitglieder und des Projektumfangs

In diesem Abschnitt werden die Projektmitglieder und relevanten Abteilungen definiert.

### 5.1.1 Key User und relevante Abteilungen

Um das Tool-Management-System einzuführen wurde eine Person als Key User eingestellt. Dessen Aufgaben bestehen aus der Verwaltung und Überwachung des Systems sowie der Pflege der Datenbank. Außerdem fungiert er als erster Ansprechpartner für den Systemanbieter. Die relevanten Abteilungen bei der Einführung des Tool-Management-Systems sind die CAM-, Einkaufs-, IT-, Logistik- und Fräsabteilung.

**CAM-Abteilung**

Die CAM-Abteilung stellt die Fertigungsaufträge bereit. Durch die Vernetzung der CAM-Abteilung und der Werkzeugverwaltung mit diesem System werden Wartezeiten verringert und der Datenaustausch optimiert, was ermöglicht, erforderliche Werkzeuge während der CAM-Programmierung festzulegen und bereitzustellen. Deshalb werden die Schnittstellen zwischen der CAM-Software und dem TMS berücksichtigt.

**Einkauf**

Wie *Abbildung 9* bis *Abbildung 13* zu entnehmen ist, ist der Einkaufsprozess derzeit zeitaufwändig. Nach der Bestätigung der Einkaufsanforderung durch den Werkzeugverwaltungsleiter wird diese zur Einkaufsabteilung geschickt und anschließend zur Bestellung aufgegeben. Das Ziel im Bereich Einkauf ist, den

Einkaufsprozess durch das Tool-Management Systems nach Möglichkeit zu parallelisieren und zu optimieren.

**Logistik**

Nach dem Einkauf werden die Werkzeuge zu Standorten in Gresten oder Ybbsitz geliefert. Die Lieferung erfolgt an den Lieferort, an den die Mehrheit der Werkzeuge adressiert sind, was zusätzlich die Wartezeit erhöht. Wenn ein Werkzeugbestand definiert ist, wird durch Zeitmanagement der Lieferungsprozess verbessert.

**IT**

Da durch das TMS die relevanten Einheiten vernetzt werden, müssen im IT-Bereich die Schnittstellen zwischen dem Tool-Management-System und dem SAP und CAM-System beachtet werden.

**Fräsabteilung**

Die Fräsabteilung ist eine der relevantesten Abteilungen, da das TM-System in diesem Bereich eingeführt wird. Die Anforderungen an den Bereich müssen bei der Auswahl vom Anbietern beachtet werden.

### 5.1.2 Definition des Projektteams

Das Projektteam besteht aus einer internen und einer externen Gruppe:

**Projektteam (intern)**

Das Projektteam besteht aus der Leitung der Werkzeugtechnik, dem Key User bzw. dem Projektleiter und dem Assistenten des Projektleiters. Für die Evaluierung der Softwareanbieter wurde zusätzlich Personal aus den Bereichen IT, CAM, Werkzeugverwaltung und mechanische Fertigung hinzugezogen.

**Enterprise 4.0 (extern)**

Enterprise 4.0 ist eine Projektgruppe und besteht aus elf produzierenden Unternehmen sowie sechs Fachhochschulen und Universitäten als Forschungseinrichtungen und unterstützende Strukturen.

Das Ziel dieser Projektgruppe ist, in Bezug auf Industrie 4.0 durch Digitalisierung bzw. Automatisierung der Fertigung in Unternehmen, gemeinsam Projekte zu definieren und zu realisieren. Die Parteien definieren bzw. erkennen in dieser Konstellation die Probleme in der Fertigung oder den Prozessen, tauschen ihre Forschungsergebnisse und ihre Erfahrungen untereinander aus und unterstützen sich um eine gemeinsame Lösung zu finden. Der Vorteil dieser Arbeitsgruppe ist, dass in kurzer Zeit mehrere Faktoren berücksichtigt werden können. Zudem wird die Erfahrung der Unternehmen,

die eine Lösung gefunden haben, analysiert und eine bessere bzw. sicherere Maßnahme getroffen. Zum Beispiel wurde bei der Auswahl eines Tool-Management-Systems mit zwei Unternehmen zusammengearbeitet, da diese Unternehmen schon das besagte System eingeführt hatten [34].

## 5.2 Prozessoptimierung

Um die Ursachen von hohen Rüstzeiten ausfindig zu machen wurde ein Ishikawa-Diagramm in der Fräsabteilung erstellt und die wichtigsten Faktoren analysiert (***Tabelle 4***).

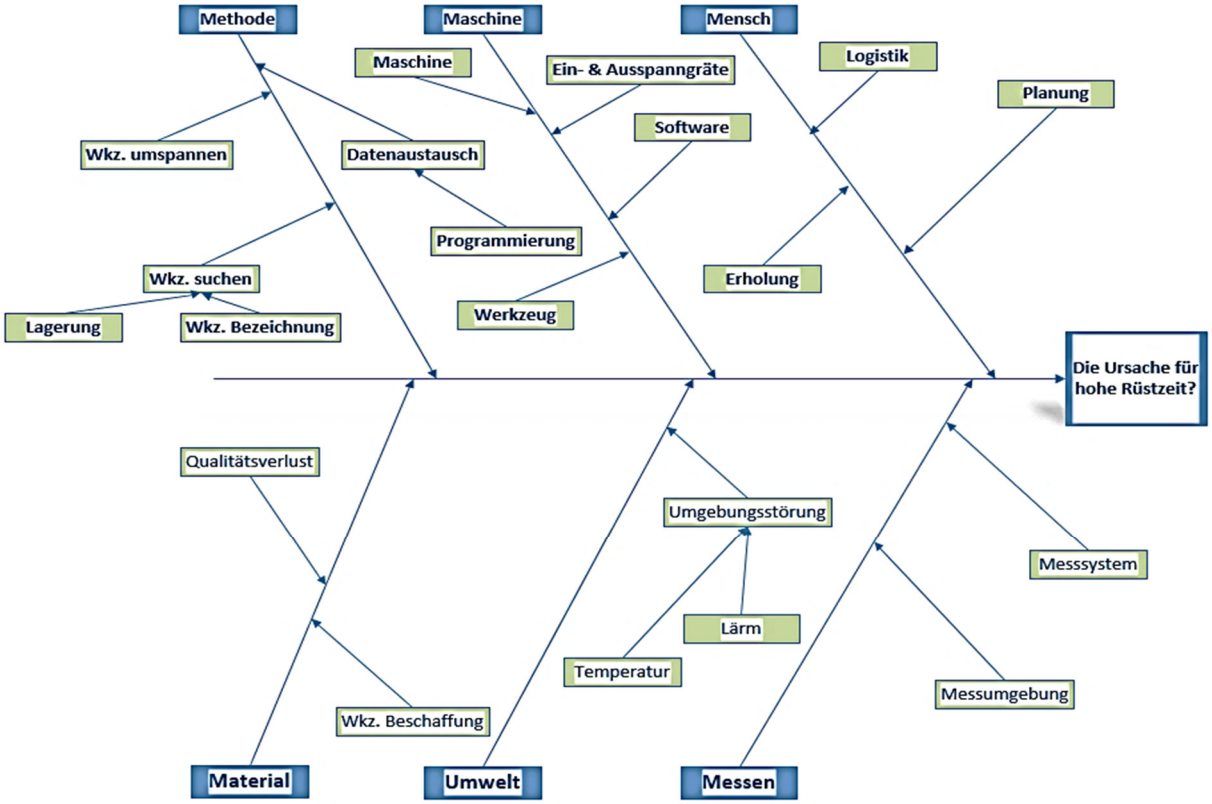


*Abbildung 18: Ursache-Wirkung-Diagramm für Werkzeugrüstzeiten*

Es wurde dabei der gesamte Verlauf des Werkzeugrüstens betrachtet, damit die Grundursachen bestimmt werden konnten. Das Ursache-Wirkung-Diagramm führt sechs Hauptursachen auf: Menschen, Maschine, Methode, Material, Umwelt und Messen. Durch Brainstorming wurden mögliche Ursachen für die hohen Rüstzeiten gesammelt und festgehalten. Beispielsweise können beim Messen von Werkzeugen folgende Probleme auftreten:

Manchmal funktioniert die Messsoftware nicht, oder die Koordinaten der Schneidwerkzeuge (zur Messung) sind schwer ausfindig zu machen. Da einige Mitarbeiter keine Experten sind, könnte auch das Schneidwerkzeug beschädigt (aber noch in der Norm) sein; dies wird dann nicht bemerkt.

Die Ergebnisse wurden in Hauptkategorien aufgeteilt und die Grundursachen in drei Gruppen unterteilt: entscheidende Ursachen, unveränderliche Konstanten und Ursachen wie Lärm, Wetter usw.

Dann wurde der Fokus auf die entscheidenden beeinflussbaren Ursachen gerichtet. In diesem Fall waren die Messsoftware, das Werkzeug, das Werkzeugumspannen, das Werkzeugsuchen (Werkzeuglagerung und -benennung), der Datenaustausch mit Menschen (Planung, Logistik) und die Werkzeugbeschaffung die Grundursachen für hohe Rüstzeiten. *Tabelle 4* zeigt Probleme, die während des Werkzeugrüstprozesses auftreten können.

| Prozess | Problem | Beschreibung |
|---|---|---|
| **Auftrag lesen** | Menschen (Erholung, Müdigkeit) | Z.B. übersehen oder vergessen das Personal |
| | Datenaustausch | Durch den Austausch tritt Fehler auf |
| | Software | Software reagiert nicht |
| | Programmierung | Fehler oder Verspätung bei der Programmierung |
| | | |
| **Werkzeugsuchen** | Keine Standardisierung | Werkzeugbenennungen tragen keinen Standard |
| | Menschen | Die Maschinenkarte wurde nicht hingelegt |
| | Logistik | Bei Bestellungen oder Verfügbarkeit. |
| | | |
| **Kontrolle** | Menschen | Die Beschädigung übersehen und Wkz. nicht wechseln, Menschen Beschädigungen |
| | Material | Qualität-Verlust während der Bearbeitung |
| | | |
| **Wkz. einspannen** | Menschenfehler | Fehler Beim Ein- & Ausspannen |
| | Umwelt | Umgebungsstörung z.B. Temperatur, Lärm etc. |
| | Maschine | Einspanngeräte funktionieren nicht |
| | Werkzeug | Einspannwerkzeuge sind nicht aussortiert |
| | | |
| **Wkz. Messen** | Messsystem | Messsysteme reagieren nicht |
| | Messumgebung | Umgebungsstörung bei Messungen, Koordinaten von Werkzeugen sind schwer zu finden |
| | Menschen | Arbeiter sei nicht bei Messungen qualifiziert |
| | | |
| **Datenübertragung** | Menschen | Fehler bei Datenübertragung |
| | Software | Software reagiert nicht |

*Tabelle 4: Analyse des Umrüstprozesses*

Das Pareto-Diagramm (siehe *Abbildung 19*) stellt dar, wie die Faktoren Werkzeugsuchen, -einspannen, -ausspannen und -messen etwa 80% der Rüstzeit verursachen. Dadurch ergibt sich, dass Maßnahmen für diese Prozesse eingeführt werden müssen, um diese zu beschleunigen.

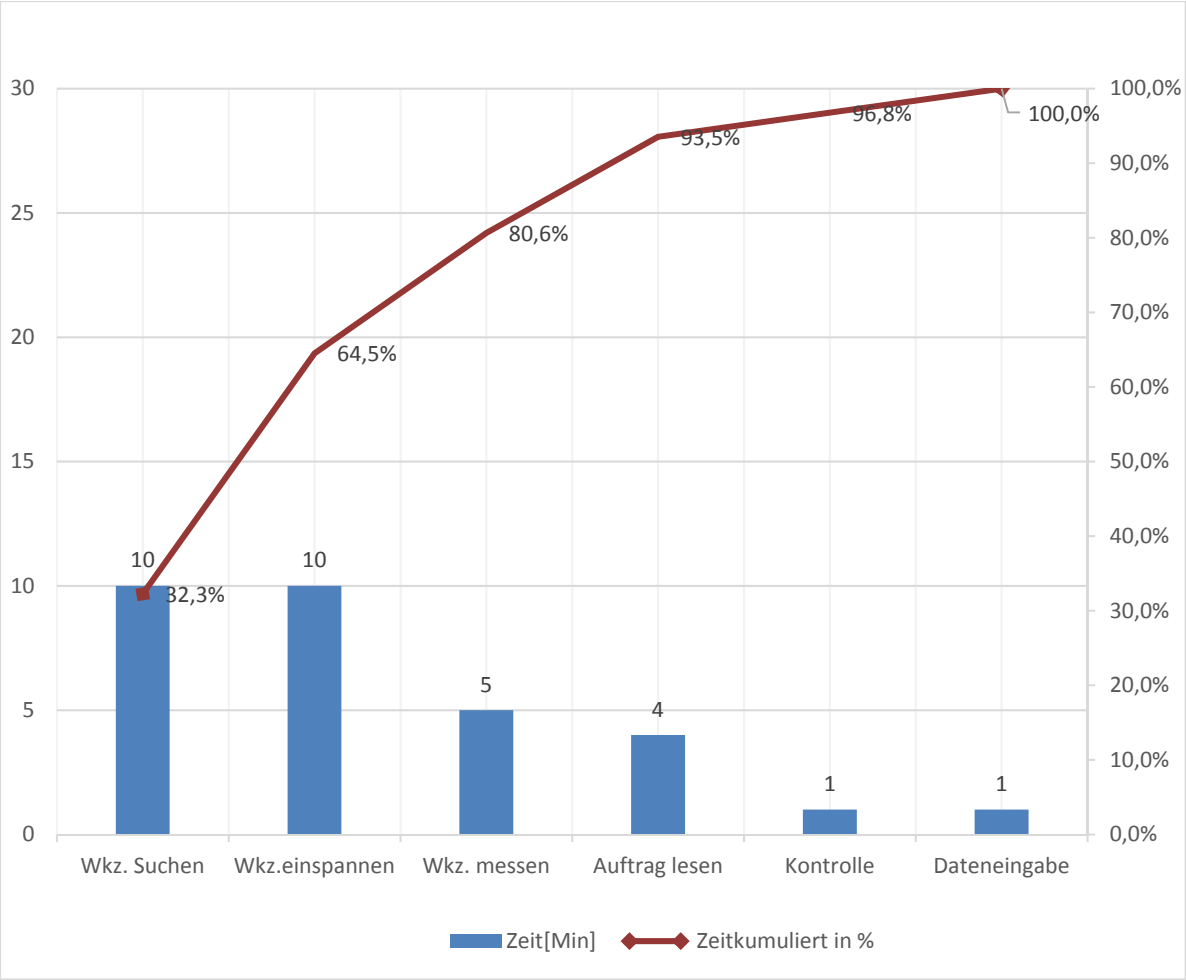


*Abbildung 19: Prozessanalyse des Werkzeugumrüstens*

## 5.3 IT-Architektur

*Abbildung 20* stellt den Soll-Zustand des gesamten Prozesses mit Hilfe des Tool-Management-Systems dar.

Das TMS muss mit der Einkaufsabteilung, Fräsabteilung und dem CAM-Bereich vernetzt sein, damit die Werkzeugrüstabläufe sowie die Werkzeugbeschaffungen optimiert werden. Ebenfalls werden durch die 5S-Methode und Standardisierung die Prozesse verbessert. Das zentrale Tool-Management-System muss mit den Steuerungssystemen an die Maschinen durch Chips (Balluff) vernetzt sein und die Gesamtwerkzeuge mit Datamatrix, damit die Offsetdaten an Maschinen übertragen werden. Balluff Chips sind eine Art RFID-System, mit dem Objekte automatisch identifiziert und jederzeit verfolgt werden können. Zudem muss TMS mit SAP vernetzt sein, um Lagerbestände abzugleichen und zu übergeben. SAP kann dadurch für erforderliche Werkzeuge Beschaffungsaufträge generieren. TMS muss also über SAP auf Materialstämme zugreifen. Das Tool-Management-System wird durch die Vernetzung die Kommunikation und den Datenaustausch zwischen CAM-Bereich und Fräsabteilung optimiert. In der globalen Werkzeugdatenbank werden die folgenden

Daten berücksichtigt: Vorrichtungen (Positionieren von Werkstücken) für verschiedene Werkstücke, wie z.B. Biegeglieder, Spannmittel (detaillierte Modelle von Schraubstöcken), zu bearbeitende Werkstoffe und Schnittdaten, Anlegung von Verwendungszwecken von Werkzeugen zur Vereinheitlichung von Programmen.

Ebenfalls werden die genannten Daten über TMS für die CAM- und die Fräsabteilung zur Verfügung gestellt. Der CAM-Bereich kann auf Werkzeugdaten und Werkzeuglisten mit Hilfe des Tool-Management-Systems zugreifen. Das TMS muss also Daten von Einzel- und Gesamtkomponenten speichern, zudem muss es den Aufbau der Gesamtkomponenten simulieren und die Schnittwerte bei Fräsern anlegen.

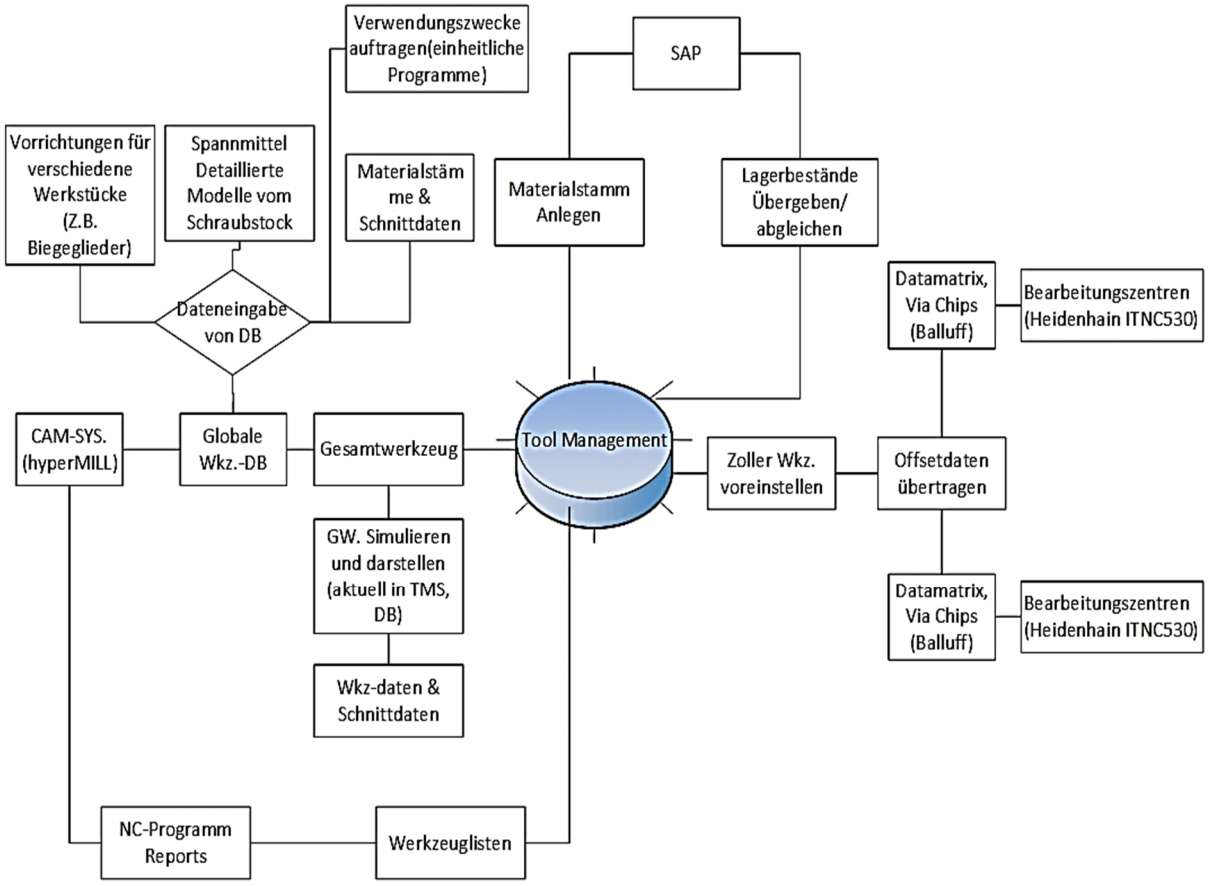


*Abbildung 20: Soll-Zustand der Schnittstellen nach der Einführung von TMS* [35]

## 5.4 Anforderungen

Um Softwareanbieter zu evaluieren, müssen die Anforderungen eindeutig definiert werden. Diese Anforderungen müssen zuerst identifiziert und beschrieben werden. Es ist erforderlich, mittels Anforderungskriterien zu überprüfen, ob ein angebotenes System die Anforderungen erfüllen kann. Bei der Einführung dieses Tool-Management-Systems liegt der Fokus auf IT-Anforderungen, technischen und organisatorischen Anforderungen sowie auf den funktionalen Anforderungen. Es wurde ein Anforderungskatalog erstellt, um die Anbieter effizient zu evaluieren.

Ein Punkt in diesem Anforderungskatalog war, dass das neue Tool-Management-System den Werkzeugbestand und den Kreislauf der Werkzeuge sowie den Zugriff auf die Werkzeugdaten optimiert, wodurch eine Verbesserung des Fertigungsprozesses erzielt werden kann. Zudem sollte die Kommunikation zwischen Einheiten durch Vernetzung effizienter werden.

### 5.4.1 Definition der technischen Anforderungen

Um das Tool-Management-System einzuführen, ist eine Standardisierung und Anpassung der Schnittstellen erforderlich. Die folgenden Punkte werden als technische Anforderungen berücksichtigt:

- SAP muss als aktuelles ERP-System mit TMS kompatibel sein
- Das System muss die aktuell verwendeten CAM-Systeme hyperMILL und PEPS sowie künftige Systeme (Esprit, EdgeCam etc.) unterstützen.
- TMS muss zu den Datenbanken MS SQL und Oracle, sowie der SAP-Datenbank HANA kompatibel sein.
- TMS soll mit aktuell verwendeten (Lista) und erforderlichen automatisierten Lagerschrank- und Liftsystemen kompatibel sein.
- Das System muss das Betriebssystem Windows unterstützen.
- Webfähigkeit des Tool-Management-Systems sollte gegeben sein.
- Der Wartungsaufwand für die Software soll überschaubar sein; ebenso müssen Updates ohne großen Aufwand realisierbar sein.
- Das Tool-Management-System muss in virtuellen Umgebungen (Citrix) lauffähig sein.
- Konfiguration der Werkzeugdatenbank nach DIN 4000 (Anmerkung: Die Kompatibilität zu Werkzeugherstellern und sogenannten CAM-Systemen wird durch die Standardisierung nach der DIN 4000 ermöglicht. Im Bereich Werkzeugverwaltung müssen Werkzeuge nach DIN 4000 standardisiert werden, beispielsweise Verwaltung von Werkzeugdaten wie Werkzeugbestände, Baugruppen, Komponenten, Schnittstellen etc.).
- Werkzeuge müssen mit einer Datamatrix (ECC 200) gekennzeichnet sein, damit die Werkzeugdaten an Maschinensteuerungen übertragen werden können.
- Dynamische und automatisierte Lagerschrank- und Liftsysteme sind erforderlich, damit Werkzeuge schneller und effizienter zur Verfügung gestellt werden und Werkzeuge optimal kontrolliert werden können.
- Einpflegen von Einzel- und Gesamtkomponenten (Stammdaten): Das TMS soll die Speicherung von zahlreichen Einzel- und Gesamtkomponenten unterstützen; außerdem muss das System die Dateneingabe von externen Datenquellen durch Werkzeuglieferanten nach DIN4000/ISO13399 unterstützen.

- Maschinensteuerungen wie Heidenhain und Siemens müssen unterstützt werden; für die Zukunft dürfen auch andere Steuerungen kein Problem darstellen.
- Der Anbieter soll kundenspezifische Schnittstellen zur Verfügung stellen können.
- Eine Programmierschnittstelle für firmeninterne Applikationen muss vorhanden sein.

### 5.4.2 Definition der organisatorischen Anforderungen

Folgende organisatorische Anforderungen werden berücksichtigt:

- Die Verwendung dieses Systems muss die Kommunikation zwischen Abteilungen durch die Vernetzung verbessern.
- Datenschutzanforderung: Nach der Implementierung des Systems müssen für Hauptbenutzer und Nutzer Rechte festgelegt werden. Die Aufgabe des Key Users ist es, das TM-System zu kontrollieren und zu schützen. Zur Verwaltung der Daten werden deshalb zwei Gruppen definiert: Die Hauptbenutzer/Key User und reguläre Benutzer. Der Key User darf Daten verwalten, also erstellen, speichern, löschen oder ändern. Die Rechte regulärer Benutzer sind Kalibrierung von Adaptern, Drucken, Lesen, Messen, der Import und Export von Daten sowie deren Übertragung an Maschinen.
- Das TMS soll modular aufgebaut werden, damit je nach Bedarf die erforderlichen Module besorgt werden können.
- Die Werkzeugbeschaffung muss mittels des TM-Systems durchgeführt werden; nach dem Empfang einer automatisch generierten Nachricht soll die Einkaufsabteilung die erforderlichen Werkzeuge bestellen können.
- Das Personal der Werkzeugverwaltung muss weiterhin neue Werkzeugdaten ins System eintragen und bei Bedarf Werkzeuge voreinstellen, aber den Mindestbestand von Werkzeugen nicht mehr kontrollieren. Die Planung der Instandsetzung erfolgt durch das System bzw. organisiert dieses die Aufgaben der Fräsabteilung; mit dem Einsatz des TMS ist, durch eine automatisierte Verwaltung, die Suche nach Werkzeug nicht mehr notwendig.
- Die relevanten Mitarbeiter müssen mittels Workshop geschult werden.
- Der Datenaustausch zwischen SAP und TMS muss nach der Einführung direkt stattfinden, damit die Komplexität der Kommunikation zwischen Einheiten reduziert wird.
- Der CAM-Bereich und die Maschinensteuerungen müssen Stammdaten direkt aus dem TMS abgreifen.
- Die Datenausgabe soll in allen gängigen Formaten funktionieren.
- Zukünftige Kundenentwicklungen bzw. -umsetzungen sollen von Anbietern unterstützt werden.
- Die Gesamtkosten des Systems müssen sich im Budgetrahmen bewegen.

- In den relevanten Abteilungen muss vor der Implementierung die erforderliche Standardisierung durchgeführt werden.
- Beim Datenaustausch zwischen SAP und dem TMS sollen Materialstämme und Lagerbestände übertragen werden.
- Die Offsetdaten an den Steuerungssystemen Heidenhain und Siemens sollen durch die Datamatrix übertragen werden; Daten von Steuerungen werden durch Balluff-Chips ins TMS übertragen.

### 5.4.3 Funktionale Anforderungen

Die funktionalen Anforderungen beschreiben, welche Funktionen die Software haben muss. Das System muss in bestimmten Situationen unterschiedliche Verhaltensweisen bzw. Funktionen aufweisen.

- Das TMS soll den Zusammenbau der Einzelkomponenten (Werkzeughalter, Werkzeug, usw.) grafisch unterstützen und abbilden.
- Nachdem die Simulation der Bearbeitungen abgeschlossen ist werden erforderliche Werkzeuge in einer Liste zusammengefasst; diese benötigten Werkzeuge müssen im TMS erfasst werden, damit sie für die weitere Fertigung zur Verfügung stehen.
- Das TMS muss durch die Verbindung mit der Datenbank der ERP-Systeme Aufträge abgreifen, durch das TMS kann überprüft werden, welche der erforderlichen Werkzeuge bereits an der NC-Maschine voreingestellt sind, damit Zeit und Kosten gespart werden können; das TMS muss Standzeit und aktuellen Bestand berücksichtigen und kalkulieren.
- Fehlende Werkzeuge müssen über TMS aus dem Lager angefordert und voreingestellt werden.
- Die Lagerverwaltung muss durch das Tool-Management-Systems unterstützt werden, d.h. die Software muss den Bestand der Werkzeuge verwalten und die Beschaffungsinformationen, -zeit und –menge für SAP zur Verfügung stellen, damit die Beschaffungs- und Lieferungsprozesse optimal geführt werden.
- Das System muss automatisch die erforderlichen Werkzeuge von verschiedenen Werkzeugherstellerkatalogen empfehlen, die Instandsetzung und Vorbereitung von Werkzeugen planen und bei Bedarf automatisch bestellen können (BANF SAP).
- Die Offsetdaten an den Steuerungssystemen Heidenhain und Siemens müssen durch die Datamatrix übertragen werden; Daten von Steuerungen werden durch Balluff Chips ins TMS übertragen.
- Die Eingabedaten der Datenbank besteht aus Daten von Werkstücken, Anlagen, Werkstoffen und den zugehörigen Schnittdaten, und den Verwendungszwecken für Fräser (um Programme zu vereinheitlichen); sie werden mit der globalen Werkzeug-Datenbank von hyperMILL und Peps vernetzt. Die Daten von CAM-

hyperMILL und den Komplettwerkzeuge werden mit dem TMS vernetzt; zudem müssen die Werkzeuglisten sowie NC-Programmberichte (vernetzt mit hyperMILL und Peps) fürs das TMS zur Verfügung stehen.

- Die relevanten Bereiche müssen auf die Datenbank dieses Systems zugreifen; der Bereich Einkauf muss Zugriff auf Werkzeugbestände haben, damit die Werkzeugbeschaffung optimiert wird. Die Software sollte bei Erreichung des Mindestbestandes von Werkzeugen eine automatische Nachricht zum Bereich Einkauf und Werkzeugverwaltung schicken. Allerdings muss definiert werden, dass jeder Bereich, je nach Rolle, nur auf die für ihn relevanten Elemente zugreifen kann und nur diese relevanten Elemente durch ihn änderbar und lesbar sind.
- Der CAM-Bereich muss mit Hilfe des TMS direkt Aufträge für die Fräsabteilung zu Verfügung stellen, damit die Voreinstellung von Werkzeug optimiert wird.
- Einspannen und Ausspannen von Werkzeugen werden just-in-time ausgeführt.
- TMS muss Instandsetzung und Nachschleifung von Werkzeug planen und das Personal der Fräsabteilung benachrichtigen.

### 5.4.4 Prozessanforderungen unter 80/20 Regel

Das Pareto-Prinzip ist nach dem italienischen Ökonomen Vilfredo Pareto benannt. Sein Prinzip, auch 80/20-Regel genannt, besagt, dass ein kleiner Teil der Ergebnisse (20%) einen großen Teil der Arbeit ausmacht (80%) [36].

Um die Produktivität zu steigern, werden mit Hilfe des Lean-Tools die Rüstzeiten reduziert und einige Prozessabläufe parallel ausgeführt; zudem ist es möglich, traditionelle Arbeitsstrukturen bis zu einem gewissen Grad zu standardisieren. Das Personal der Werkzeugverwaltung sollte z.B. die Fertigungsaufgaben schneller von der CAM-Abteilung bekommen und während der Bearbeitung der NC-Maschine erforderliche Werkzeuge bereits voreingestellt erhalten. Der Ablauf des Umrüstens von Werkzeugen muss also optimiert werden. Die Zeit, die das Personal mit dem Suchen von Werkzeugen verschwendet, muss durch Standardisierung verringert werden und durch die Verwendung von Poka, Yoke, Muda, Mura und Muri müssen Fehler, Verschwendung und Wartezeiten vermieden werden.

Durch die Verwendung des Tool-Management-Systems werden diese Anforderungen erfüllt. Bei der Betrachtung des Ursache-Wirkung-Diagramms konnte festgestellt werden, dass beim Einsatz des Tool-Management-Systems die Faktoren Werkzeugsuchen und Werkzeuglagerung, Datenübertragung, Planung, Werkzeugbeschaffung, Erholung der Mitarbeiter, Qualitätsverlust und Messsysteme direkt beeinflusst werden (*Tabelle 4, Abbildung 18* & *Abbildung 19*).

## 5.5 Erstellung des Anforderungskatalogs

Zur Betrachtung der Anforderungen wird ein Anforderungskatalog (*Tabelle 5*) erstellt, der für die Evaluierung eines Tool-Management-Systems erforderlich ist. Zudem werden bei der Erstellung des Anforderungskatalogs die folgenden Punkte berücksichtigt:

**Einfachheit**

Durch die Einführung des TMS müssen Fertigungsprozesse deutlich vereinfacht werden. Zudem muss der Einsatz zu Einfachheit im Vertrieb führen.

**Flexibilität**

Durch den Einsatz dieser Software sollen komplexe Prozesse einfacher, flexibler und flüssiger ablaufen. Dies soll auch zu Flexibilität bei Kundenbestellungen führen.

**Vernetzung**

MES, ERP-, und CAM-Systeme müssen miteinander vernetzt und die zugehörigen Schnittstellen an das TMS angepasst werden, damit der Datenaustausch fließend erfolgt.

**Fertigung**

Der Fertigungsprozess soll computergestützt ablaufen können bzw. durch den Einsatz des Systems mit den Abteilungen CAM, IT, Einkauf, Logistik und Fräsung vernetzt werden. Einerseits muss das TMS die Produktivität bei Benutzung steigern, andererseits Wartezeiten und Rüstzeiten verringern.

**Ergonomie**

Der Einsatz der Software soll Müdigkeit und Stress der Mitarbeiter reduzieren, und darüber hinaus Störungen durch Umwelteinflüsse reduzieren.

**Sicherheit**

Beim Datenschutz soll definiert werden, wer Daten generieren, löschen und ändern darf. In diesem Sinne sollen Benutzerrechte definiert werden.

**Standardisierung**

Durch diesen Arbeitsablauf soll die Qualität der Prozesse verbessert und gewisse Prozesse zusammengelegt werden. In den relevanten Abteilungen muss vor der Implementierung die erforderliche Standardisierung durchgeführt werden.

| Anforderungskatalog | | |
|---|---|---|
| **Ziel**:<br>Produktivitätssteigerung durch Verringerung der Rüstzeiten, Wartezeiten und Suchzeiten | | **Projekt:**<br>Zentrales Tool Management<br>(TM System) |
| **Technische Anforderungen** | | |
| **Nr.** | **Anforderung** | **Beschreibung** |
| 1 | Kompatibilität mit SAP & zugehörigen DB | Verwendetes ERP-SYS |
| 2 | Vernetzung & Synchronisierung zwischen den aktuell verwendeten CAM-Systemen HyperMILL und PEPS | Möglichkeit für zukünftige CAM-Systemen wie Esprit, EdgeCam; |
| 3 | Datenaustausch und Zugriff auf Datenbanken (MS SQL und Oracle), SAP-Datenbanken HANA, MAX DB und Sybase | |
| 4 | Unterstützung vom Windows-Betriebssystem | |
| 5 | Softwareupdates | |
| 6 | Webfähigkeit | |
| 7 | Kompatibilität mit Lagerschrank- und Leitsystemen | aktuelle & künftige Leitsysteme |
| 8 | Standardisierung von Werkzeugen nach DIN 4000 | Bezeichnungen und Ident.-Nr. |
| 9 | Konfiguration der Werkzeugdatenbank nach DIN 4000 | |
| 10 | Anlegen einer Datamatrix auf Werkzeuge | Datenübertragung an Maschinen |
| 11 | Datenaustausch zwischen TMS/SAP | Materialstämme & Lagerbestände |
| 12 | Unterstützung Lagerverwaltung (Werkzeugbestand, Beschaffungszeit & -menge) | Bereitstellung der Infos für Beschaffung von Werkzeug für SAP |
| 13 | Beschaffung von Werkzeugschränken, Lagerschrank- & Leitsystemen | dynamisch & digital |
| 14 | Anlegen von Stammdaten | Einzel- & Gesamtkomponente |
| 15 | Dateneingabe von externen Datenquellen von Lieferanten | Nach DIN 4000/ISO 13399 |
| 16 | Unterstützung der Steuerungen Heidenhain & Siemens | sowie künftige Steuerungen |
| 17 | Künftige kundenspezifische Schnittstellen | |
| 18 | Präsenz einer zugehörigen Schnittstelle | für firmeninterne Applikationen |
| **Organisatorische Anforderung** | | |
| 1 | Optimierung des Datenaustauschs durch Vernetzung von TMS mit SAP | Zwischen TMS/SAP & TMS/CAM-SYS |
| 2 | Verbesserung der Kommunikation zwischen Einheiten durch Vernetzung | horizontale & vertikale Integration |
| 3 | Festlegung eines Administrators | „Key User" |
| 4 | Datenschutzanforderung bzw. Rechteverwaltung | Hauptbenutzer- und Benutzerrechte |
| 5 | Direkter Zugang von CAM-Bereich und Steuerungen zu Werkzeugdaten | Werkzeugdaten aus TMS |
| 6 | Werkzeugbeschaffungsliste direkt an Einkaufabteilung senden | automatisch generierte Nachrichten |
| 7 | Anlegen von neuen Werkzeugdaten in TMS | Personal der Fräsabteilung |
| 8 | Voreinstellung von Werkzeugen | Personal der Fräsabteilung |
| 9 | Organisation der Voreinstellungs- und Umspannzeit von Werkzeugen | mittels TMS |
| 10 | Einschulung von Mitarbeitern mit durch Workshop | möglicherweise bei Anbietern |
| 11 | Reduktion der Komplexität von Kommunikation zwischen Einheiten | |
| 12 | Modularer Aufbau des TM-Systems | Einfachheit der Einführung |

| | | |
|---|---|---|
| 13 | Unterstützung von künftigen NC-Maschinen | |
| 14 | Gesamtkosten innerhalb des Budgetrahmens | |
| 15 | künftige Entwicklungen annehmen | |
| 16 | Standardisierung der relevanten Abteilungen vor der Implementierung | |
| **Funktionale Anforderungen** | | |
| 1 | Arbeitsumfang in Fräsabteilung & relevanten Abteilungen | |
| 2 | Werkzeugverwaltung mit Grafiken, Zubehörlisten und Werkzeugliste | |
| 3 | Lageverwaltung (Lagerumbuchungen & zugehörige grafische Anzeige) | |
| 4 | Anlegen von Datamatrix und scannen selbiger nach dem Werkzeugmessen | Werkzeuge werden adressierbar & identifizierbar |
| 5 | Anlegen Balluff-Chips an Maschinen etc.& Einlesen zur Identifikation | fehlerfreie Datenübertragung |
| 6 | Werkzeug umspannen und wechseln | just-in-time |
| 7 | Bereitstellung von Aufträgen für die Fräsabteilung durch TMS | |
| 8 | Übertragung der Offsetdaten an Steuerungen | Heidenhain & Siemens |
| 9 | Übertragung der Daten von Steuerungen ins TMS | Heidenhain & Siemens |
| 10 | Vernetzung der Daten von Werkstoffen, Werkzeugen, Schnittdaten & Verwendungszwecke für Fräser mit der Werkzeugdatenbank der CAM-Abteilung. | Vernetzung der Daten der CAM-Abteilung mit TMS |
| 11 | Graphische Darstellung des Zusammenbaus von Werkzeugen | |
| 12 | Graphische Darstellung von Werkzeugen (Citrix) | |
| 13 | Anlegen verschiedener Herstellerkataloge für Werkzeug | |
| 14 | Automatische Auswahl aus Herstellerkatalogen für Werkzeug | bei Bedarf automatisch bestellbar an (BANF) SAP |
| 15 | Planung der Instandsetzung und Vorbereitung von Werkzeugen | |
| 16 | Bereitstellung von Werkzeuglisten & NC-Programmberichte für TMS | |
| 17 | Übertragung von Werkzeugbeständen & -standorten an TMS | durch Datamatrix |
| 18 | Zugang zur Datenbank durch relevanten Abteilungen nur für jeweils relevante Elemente des TMS | Z.B: Zugang durch Logistikabteilung verbindet nur den Bereich Logistik |
| 19 | Bereitstellung von Aufträgen für die Fräsabteilung durch TMS | direkt durch horizontale Integration |
| 20 | Instandsetzung & Werkzeugnachschleifen planen; Versand von Benachrichtigungen | Nachricht an Personal von Fräsabteilung |

*Tabelle 5: Anforderungskatalog*

## 5.6 Grobe Marktevaluierung

In der Folge werden Anbieter durch eine grobe Marktevaluierung unter Berücksichtigung der Muss- und Soll-Kriterien überprüft.

### 5.6.1 Muss-Kriterium und Soll-Kriterium

Die Soll-Kriterien werden basierend auf Unternehmensbedürfnisse unter Berücksichtigung des Anforderungskatalogs benotet. Die Webfähigkeit der TM-Software ist ein Beispiel für ein solches Soll-Kriterium. Muss-Kriterien werden als

Pflichtanforderungen definiert. Sie wurden bei der Definition der Anforderungen festgelegt. *Tabelle 6* stellt die Muss- und Soll-Kriterien dar:

| Nr. | Anforderung | Soll/Muss-Kriterium |
|---|---|---|
| 1 | Kompatibilität mit SAP & zugehörigen Datenbanken | Muss |
| 2 | Vernetzung & Synchronisierung zwischen den aktuell verwendeten CAM-Systemen HyperMILL und PEPS | Muss |
| 3 | Datenaustausch und Zugriff auf Datenbanken (MS SQL und Oracle), SAP-Datenbanken HANA, MAX DB und Sybase | Muss |
| 4 | Unterstützung des Betriebssystems Windows | Muss |
| 5 | Softwareupdates | Muss |
| 6 | Webfähigkeit | Soll |
| 7 | Graphische Darstellung von Werkzeugen (Citrix) | Soll |
| 8 | Kompatibilität mit Lagerschrank- und Leitsystemen | Soll |
| 9 | Bereitstellung der Aufträge für Maschinen, die mit einigen der benötigten Werkzeuge ausgerüstet sind | Muss |
| 10 | Die Konfiguration der Werkzeugdatenbank nach DIN 4000 | Muss |
| 11 | Grafische Darstellung von dem gesamten Zusammenbau von Werkzeugen | Soll |
| 12 | Anlegen der Datamatrix auf Werkzeugen | Muss |
| 13 | Unterstützung der Lagerverwaltung (Werkzeugbestand, Beschaffungszeit & -menge bzw. Bereitstellung der Infos von Werkzeugbeschaffungen für SAP) | Muss |
| 14 | Anlegen von verschiedenen Herstellerkatalogen für Werkzeug | Muss |
| 15 | Automatische Auswahl aus Herstellerkatalogen für Werkzeug | Muss |
| 16 | Planung der Instandsetzung und Vorbereitung von Werkzeugen | Muss |
| 17 | Anlegen von Stammdaten (Einzel- & Gesamtkomponente) | Muss |
| 18 | Dateneingabe von externen Datenquellen durch Lieferanten gemäß DIN 4000 | Muss |
| 19 | Unterstützung der Steuerungen Heidenhain & Siemens | Muss |
| 20 | künftige kundenspezifische Schnittstellen | Soll |
| 21 | Präsenz einer zugehörigen Schnittstelle | Muss |
| 22 | Lagerverwaltung (Lagerumbuchungen & zugehörige graphische Anzeige) | Muss |
| 23 | automatische Empfehlung erforderlicher Werkzeuge aus Katalog | Muss |
| 24 | Anlegen von Datamatrix und scannen selbiger nach dem Werkzeugmessen | Muss |
| 25 | Anlegen Balluff-Chips an Maschinen etc.& Einlesen zur Identifikation | Muss |
| 26 | Werkzeug umspannen und wechseln (just-in-time) | Soll |
| 27 | Datenübertragung zwischen TMS/SAP (Materialstämme & Lagerbestände) | Muss |
| 28 | Übertragung der Offsetdaten an Steuerungen (Heidenhain & Siemens) | Muss |
| 29 | Vernetzung der Daten von Werkstoffen, Werkzeugen, Schnittdaten & Verwendungszwecken für Fräser mit der Werkzeugdatenbank der CAM-Abteilung. | Muss |
| 30 | Bereitstellung von Werkzeuglisten & NC-Programmberichten für TMS | Muss |
| 31 | Zugang zur Datenbank durch relevante Abteilungen nur für relevante Elemente von TMS | Muss |

| | | |
|---|---|---|
| 32 | Bereitstellung von Aufträgen für die Fräsabteilung durch TMS | Muss |
| 33 | Instandsetzung & Planung des Nachschleifens von Werkzeugen & Versand von Benachrichtigungen | Muss |

*Tabelle 6: Muss- und Soll-Kriterium*

## 5.6.2 Anbieterübersicht

Sowohl mittels Recherche im Internet als auch durch direkten Kontakt mit den Unternehmen der Arbeitsgruppe „Enterprise 4.0“, die diese Softwarelösung eingeführt haben, wurden die folgenden Anbieter ausgewählt:

COSCOM, Gühring, NCSimul, TDM Systems, WinTool, TCM international und Zoller. Zwei Unternehmen von Enterprise 4.0, welche die Einführung des Systems ebenfalls in Betracht ziehen, teilten ihre Forschung und Erfahrungen. Dann wurden die Anbieter eingehend analysiert. Da auf dem Markt starker Wettbewerb herrscht, bieten die Softwareanbieter sowohl die Schnittstellen zu allen führenden CAM-Systemen als auch eine Prozessberatung an. Zudem wird das Softwaresystem bei Anbietern meistens modular angeboten, was mehr Flexibilität ermöglicht. Im Folgenden werden sieben Anbieter genauer betrachtet. Gemeinsam mit Mitgliedern der Gruppe Enterprise 4.0 wurde untersucht, welche Anbieter in welchem Bereich qualifiziert sind.

**COSCOM**

COSCOM ist ein Unternehmen, das im Bereich Metallbearbeitung und Maschinenbau Softwarelösungen entwickelt, die während der Prozesskette bei NC-Maschinen eingesetzt werden. Seit 1978 ist COSCOM am Markt aktiv, daher ist die Firma einer der erfahrensten Anbieter im Bereich Fertigungsautomation im Zerspannungsprozess. Aktuell sind ungefähr 600 COSCOM-Lösungen europaweit im Einsatz und ca. 25.000 Anlagen mit COSCOM-Systemen vernetzt. Das Kernprodukt des Systems wurde modular konstruiert und besteht aus CAM-Software, Tool-Management, Maschinensimulation, CAM-Datenmanagement und DNC-Software inklusive Prozessberatung. COSCOM bietet Softwareentwicklung, Prozess-Consulting, Vertrieb, Integration, Implementierung, Installation bis hin zu Schulung, Einführung Service und Support an [37].

**Gühring**

Aufgrund einer Befragung seiner Kunden behauptet das Unternehmen, dass mittels Einführung der Gühring TM-Systeme deutliche Kostenersparnis und signifikant höhere Transparenz während der Arbeit erzielt werden kann. Zudem behauptet Gühring, dass durch die Verwendung ihres TM-Systems durchschnittlich 10% geringere Werkzeugkosten, eine Zeitersparnis von bis zu einer Stunde an Verwaltungsaufwand pro Tag und 14 Prozent weniger Maschinenstillstand aufgrund fehlender Werkzeuge erzielt wurde [38].

Nach der Untersuchung stellte die Jury fest, dass das System von Gühring kein zentrales Tool-Management-System ist; vielmehr verwaltet es nur den Bereich Werkzeugverwaltung und wird nicht mit anderen Abteilungen vernetzt, z.B. werden Beschaffungen nicht überwacht (eine Insellösung), weshalb es nicht die Anforderungen erfüllt.

**NCSimul (Spring Technologies)**

NCSimul bietet Lösungen im Bereich NC-Fertigungsmaschinen an und wurde 1983 in Frankreich gegründet. Die Firma besitzt Standorte in Frankreich, Deutschland, den USA und China und ist spezialisiert auf die Bereiche Maschinenbau, Automobilherstellung, Luft- und Raumfahrt, Transport, Energie und Medizintechnik.

„Mit NCSimul Tool haben wir durch Optimierung der Vorbereitungseffizienz erfolgreich unsere Werkzeugkosten reduziert und die Produktivität unserer Maschinen gesteigert“, sagt Franck Copin Manager Cam, Process Engineering von AREVA.

Durch das NCSimul-Tool wird der Werkzeugbestand sowie der Werkzeugkreislauf optimiert. Es stehen 95% der Werkzeugdaten zur Verfügung, es wird 50% Zeitersparnis bei der Voreinstellung von Werkzeugen erzielt, ebenfalls würde die Ressourcenverschwendung um 15% reduziert werden [39].

**TCM International**

TCM International ist ein Anbieter, der im Bereich Tool-Management-Solutions tätig ist. Das Unternehmen hat aktuell 36 Dienstleistungsverträge, der zentrale Standort ist in Steinz, Österreich [40].

**TDM Systems**

TDM Systems ist ein führender Softwarehersteller, der sich für die Verwaltung der Werkzeugdaten im Bereich Zerspannung engagiert und Dienstleistungen für das Lebenszyklus-Management der Werkzeugdaten bereitstellt.

Ein Sprecher von TDM Systems GmbH behauptet: „Durch den Einsatz von TDM Softwarelösung werden sofort Einsparpotenziale freigesetzt. Die Werkzeugbeschaffungskosten werden durch die Reduzierung der Werkzeugtypenvielfalt und den Abbau von verdeckten Lagern deutlich gesenkt. Die Verwaltungskosten sinken durch eine reduzierte Lieferantenvielfalt und durch die Anbindungen an ERP-Systeme für ein integriertes Bestellwesen. Unter dem Strich führt das zu Produktivitätssteigerungen beim Kunden von bis zu 20% jährlich“ [14].

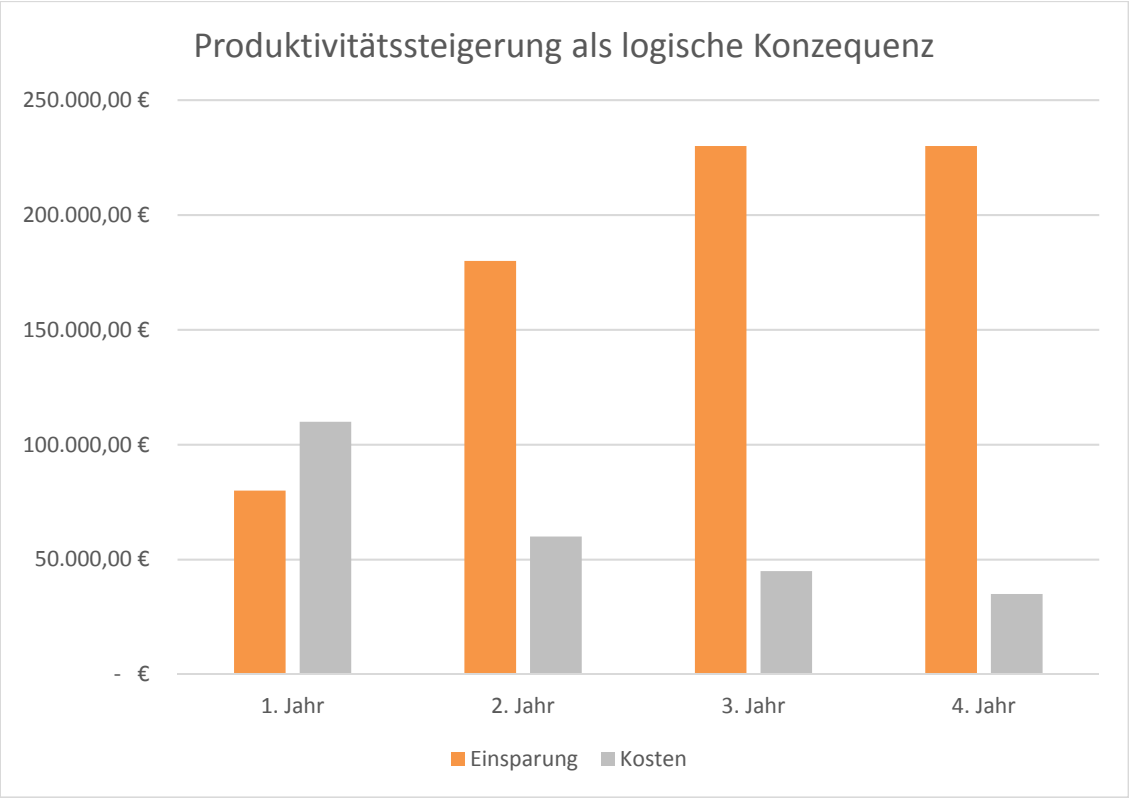


*Abbildung 21: Produktivitätssteigerung als logische Konsequenz (TDM System) [14]*

**WinTool**

Das Schweizer Unternehmen WinTool wurde 1980 in Zürich gegründet und beschäftigt zurzeit 20 Mitarbeiter, WinTool betreut aktuell 400 Vertragskunden auf der ganzen Welt. WinTool besitzt Standorte in Europa, Asien und Amerika. Sie betreuen im Moment adcam, Dassault Systems, CGTech, FeatureCAM, edgecam, DP Technology, openmind, Siemens PLM NX, SolidCAM, und andere. WinTool Solution bietet transparente Prozesse und zeichnet sich durch Eliminierung von Fehlern und vernetzte Werkzeugdatenbanken für Einzel- und Gesamtkomponenten aus [41].

**Zoller**

Zoller ist im Bereich Messgeräte zur Werkzeugvoreinstellung, Organisation der Fertigung aktiv und bietet ein Tool-Management-System zur Erhöhung der Produktivität und Kostenersparnis sowie zur Erhöhung der Genauigkeit im Bereich Werkzeugverwaltung an. Zoller wurde 1945 gegründet und hat in 48 Ländern Standorte, darunter in den USA, China, Indien und Japan. Zoller TMS ermöglicht die Wahl zwischen drei Paketen, dem Bronze-, Silber- und Goldpaket. Durch das TMS von Zoller wird die Datenübertragung sicherer und durch die Zentralisierung der Datenbank kann die maximale Maschinenkapazität erreicht werden [4].

## 5.7 Feine Marktevaluierung

Nach einer Besprechung mit der Gruppe Enterprise 4.0 wurde entschieden, dass die 6 Anbieter COSCOM, NCSimul, TCM International, TDM, WinTool und Zoller an einem einzelnen Tag ihr Produkt präsentieren sollten, damit die Anbieter effizienter evaluiert werden könnten. An diesem Tag waren 44 Personen, 29 Projektgruppenteilnehmer aus dem Projekt Enterprise 4.0 und 15 Personen von Anbietern beteiligt. Für die feine Marktevaluierung wurde ein Formular basierend auf den Soll-Anforderungen (Anwendbarkeit und Funktionalität der Software) erstellt. Während der Präsentation wurden aktuelle Fragen über und Anforderungen an das Produkt an die Anbieter verteilt, woraufhin diese ihre Softwarelösungen im Detail präsentierten. Jeder Anbieter erhielt 90 Minuten Zeit um seine Softwarelösung zu präsentieren, danach wurden Fragen zu den Schnittstellen, dem Support, den Updatemöglichkeiten, der Programmiersprache des Systems und den Entwicklungen in verschiedenen Bereichen gestellt und im Anschluss von den Teilnehmern bewertet.

## 5.8 Evaluierungsformular

Da die oben genannten Anbieter weitgehend die Muss-Anforderungen erfüllten, wurde entschieden, dass die Anbieter auf Basis der Anwendbarkeit und Funktionalität ihrer Software verglichen und evaluiert werden sollten. Zur Evaluierung wurde ein Formular unter Berücksichtigung der Anforderungen erstellt und die Anforderungen in Abhängigkeit von verschiedenen Themenbereichen klassifiziert. Die Teilnehmer bewerteten darauf die folgenden Punkte:

**Unternehmen**

Bei der Vorstellung der Unternehmen wurden die Standorte und die Größe des Softwareanbieters betrachtet. Der Standort des Softwareanbieters spielt eine entscheidende Rolle bei der Unterstützung, da er im Falle eines Gebrechens zeitnahen Support ermöglicht.

**Analyse/Reporting**

Bei der Analyse wurde Bestandsüberwachung, Lagersituation, die zeitliche Planung des Werkzeugschleifens, Einsatz, Lagerzeiten, sowie Spann- und Messmittel berücksichtigt.

**IT**

Unter diesem Punkt wurden der Verlauf der Benutzerverwaltung sowie die Häufigkeit und der Umfang von Updates, der Ablauf der Systeminstallation, verwendete Softwaretechnologien wie die Programmiersprache und Webfähigkeit, benutzte Datenbanken, Hife und Unterstützung und die Anzahl der an der Entwiclkung der

Software beteiligten Personen berücksichtigt. Zudem wurden die Anbieterlösungen für zugehörige Schnittstellen beurteilt.

**Entwicklungen**

Der Entwicklungsplanung für künftige Versionen, der Zeitpunkt der Entwicklung der unterschiedlichen Bereiche, der Zustand der Umsetzung bei Kunden, Umfang der Entwicklung und die Innovativität wurden hier betrachtet. Für den Fall, dass Kunden spezifische Entwicklungen benötigten, wurde erörtert, wie der Zeitraum der Umsetzung aussehen würde.

**Schnittstelle ERP**

Die Anbieter des TMS müssen sicherstellen, dass die erwünschte Schnittstelle für den Benutzer einstellbar ist. Zustand und Zeitraum der Implementierung von Anbietern wurde erfragt und bewertet. Zudem wurden die Möglichkeiten einer Datenübertragung zwischen Einzel- und Gesamtkomponenten im EPR-System beurteilt.

**Prozesskreislauf**

Wie funktionieren der Warenausgang und Wareneingang, z.B. beim Nachschleifen der Werkzeuge? Wie sehen die möglichen Interaktionspunkte mit der Werkzeugverwaltung aus?

**Maschine**

Hier wurde erörtert, ob folgende Punkte von den Maschinen berücksichtigt werden: Erstellung der Differenzliste von Werkzeugen, Klärung von Unklarheiten bezüglich Bestand bei der Logistik und zukünftiger Aufträge, Schaffung von Optionen für die Identifikation der Werkzeuge z.B. Barcode, RFID, NFC und Datamatrix, Übertragung der Messdaten von Werkzeugen. Zudem wurde die Übergabe der aktuell verwendeten Werkzeuge an die Maschine, Standzeit sowie Standzeitüberwachung untersucht.

**Bewegungsdaten**

Unter diesem Punkt wurden folgende Aspekte betrachtet: physische Identifikation der gesamten Komponenten, Bestandsänderung, Information über den Mindestbestand, Erfassung der gesamten Komponenten bei der Vermessung und Adaptierung der Messgeräte bzw. Messprogramme.

**Materialwirtschaft**

Die folgenden Punkte werden beim Bereich Logistik abgefragt: Zustand der Lagerverlegung des Werkzeug-Bestands (Werkzeugbeschaffungen), Zwischentransport und Auflösung der Stückliste.

### Schnittstelle CAM

Die Zustellung der gesamten Werkzeuge an CAM, Lieferung von CAM an MT-Systeme (Werkzeugeinsatzzeiten, Arbeitsplan etc.), die Zustellung von Spannmitteln an CAM, die Änderung der Programmierung (z.B. wenn ein Werkzeug nicht mehr benutzt wird) und die Änderung von Werkzeugen im CAM sind hier die wesentlichen Kriterien.

### Stammdaten

Wie werden Daten von Einzelkomponenten (z.B. Fräser) angelegt? Ist das Eintragen der Daten aus externen Datenquellen der Werkzeuglieferanten (z.B. laut DIN 4000 und ISO1339) möglich? Die folgenden Punkte werden als Stammdaten abgefragt:

- Verwendungszwecke (z.B. einstechen, schruppen oder schlichten)
- Zusammenbau der Werkzeuge und Spannmittel (Backenfutter, Schraubstock etc.).

| **Bewertungsbogen** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Unternehmen** | | | | | |
| | Sehr gut 1 | Gut 2 | Befriedigend 3 | Genügend 4 | Nicht g. 5 |
| Unternehmensvorstellung | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| USP der Lösung | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Exemplarische Darstellung-Referenzkunde | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Aufstellung des Teams, Größe, Standorte | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| **Analysen/ Reporting** | | | | | |
| | Im Standard enthalten | Teilimplementiert | In Entwicklung (Release < 6 Monate) | Wird auf Kundenwunsch entwickelt | Wird nicht kommen |
| Lagerumschlagshäufigkeit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Bestandsüberwachung | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Engpass Analysen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Einsatz und Lagerzeiten | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| externe Dienstleistung / Umlaufmaterial | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| **IT Technology** | | | | | |
| Benutzerverwaltung | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Updateprozess | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Softwareinstallation am Client | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Genutzte Software Technologie | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

| | Im Standard | Teilimplementiert | In Entwicklung (Release < 6 Monate) | Wird auf Kundenwunsch entwickelt | Wird nicht kommen |
|---|---|---|---|---|---|
| Genutztes Datenbanksystem | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Fremdzugriff auf Information | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Virtuelle Umgebungen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Globale Datenbank | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| **Entwicklungen** | | | | | |
| Aktuelle und geplante Aktivitäten | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| **Schnittstelle ERP** | | | | | |
| Einzelkomponente im ERP anlegen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| **Prozesskreislauf** | | | | | |
| Nachschleifen von Werkzeugen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Prozessskizze | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| **Maschine** | | | | | |
| Differenzliste von Werkzeugen erstellen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| mögliche Abrüsten von Werkzeugen im Werkzeugmagazin | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Möglichkeiten der Werkzeug Identifikation | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Einspielen von Messdaten von einem Werkzeug | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Übergabe von bereits verwendeten Werkzeugen an Maschine | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Standzeitüberwachung bzw. aktuelle Standzeit an physisches Werkzeug | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| **Bewegungsdaten** | | | | | |
| Physische Identifikation des Kompl. WKZ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| | | | | | |
| Buchungszeitpunkte über die Stationen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Vermessung von Komplet Werkzeug | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Anlegen von Messprogrammen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| **Materialwirtschaft** | | | | | |
| Stücklistenauflösung | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

| | Im Standard | Teilimplementiert | In Entwicklung (Release < 6 Monate) | Wird auf Kundenwunsch entwickelt | Wird nicht kommen |
|---|---|---|---|---|---|
| Lagerumbuchungen von Bestand auf Logistik | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| **Schnittstelle CAM** | | | | | |
| Übergabe von Gesamtwerkzeug an CAM (Hypermill2016.2/Esprit TNG) | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| | Im Standard | Teilimplementiert | In Entwicklung (Release < 6 Monate) | Wird auf Kundenwunsch entwickelt | Wird nicht kommen |
| Übergabe von Spannmittel an CAM (Hypermill2016.2/Esprit TNG) | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Übergabe von CAM an Toolmanagement System | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Änderung der Programmierung -> Änderung Einrichtedatenblatt /Rüstblatt/Arbeitsplan | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Änderung der Werkzeuge im CAM -->Änderung Einrichtedatenblatt /Rüstblatt/Arbeitsplan | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| **Stammdaten** | | | | | |
| Einzelkomponente Anlegen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Import aus externen Datenquellen von Werkzeuglieferanten DIN4000/ISO13399 | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Schnittdaten Anlage (Komponente vs. Gesamtwerkzeug) | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Verwendungszwecke | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Werkzeug Zusammenbau | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Spannmittel | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

*Tabelle 7: Bewertungsbogen*

## 5.9 Standardisierung von Werkzeugen nach DIN 4000

Die Werkzeugverwaltung muss standardisiert werden, da mit der traditionellen Werkzeugverwaltung die Suche nach Werkzeug relativ viel Zeit konsumiert. Durch Standardisierung werden Werkzeuge aussortiert und Werkzeuglager werden übersichtlicher (sichtbar machen der 5S); es kommt hinzu, dass die Identifikationsnummern der Werkzeuge ein einheitliches Format besitzen, was den Aufwand der Suche nach Werkzeugen reduziert.

Bei der Betrachtung des Ist-Zustands des Bereichs Werkzeugverwaltung (siehe *Abbildung 14* & *Abbildung 15*) wurde festgelegt, dass die Werkzeuge nach DIN 4000

standardisiert werden müssen, damit sie die nötigen Abmessungen sowie die chemischen und physischen Eigenschaften enthalten. Jeder Werkzeughersteller verwendet seinen eigenen Standard für die Benennung des von ihm produzierten Werkzeugs, den das Unternehmen Welser Profile übernimmt (siehe *Abschnitt 4.1.2*). Zur Analyse des Werkzeugbestands wurde eine Checkliste erstellt. Danach wurden Werkzeuge in zwei Hauptgruppen, Einzel- und Gesamtkomponenten, klassifiziert. Die Einzelkomponenten bestehen aus Werkzeughalter, Schneidwerkzeugen und bei Bedarf Zubehören (siehe *Tabelle 8, Tabelle 9 & Tabelle 10*). Die Schneidwerkzeuge selbst sind in die folgenden fünf Kategorien unterteilt: Bohrer, Senker, Sägen, Fräser und Sonstige. Jene Eigenschaften der Werkzeuge wurden berücksichtigt, die sowohl für den Bereich Tool-Management als auch CAM-Programmierung wichtig sind, damit die Werkzeuge identifizierbar und adressierbar sind. Im Zuge der Einführung des Tool-Management-Systems erhält jedes Werkzeug eine Datamatrix, damit die Werkzeugdaten im System fehlerfrei eingetragen werden können und Werkzeuge jederzeit identifizierbar und adressierbar sind. Für die Identifizierung werden zwei Arten stumme und sprechende Identifikationsnummer verwendet. Die stumme Ident.-Nummer ist eine Kennzeichnung, die durch das TMS automatisch generiert wird, dabei erhält man keinerlei Informationen/Daten. (z.B. Wkz.-00025). Die sprechende Ident.-Nummer besteht aus einer Kombination von Abkürzungen, die eine Beschreibung ausdrücken (z.B. SFFR_D6 beschreibt Schaftfräser mit dem Durchmesser 6mm).

Für die Identifizierung von Werkzeugen wird eine stumme Ident.-Nummer, und für die Bezeichnung der Werkzeuge eine sprechende Nummer benutzt. Die sprechende Identifikationsnummer bedeutet, dass Werkzeuge bei Benennungen eine Abkürzung und physikalische Eigenschaften erhalten (siehe *Tabelle 11*), die stummen Identifikationsnummern haben ein Format nach dem Schema Wkz-0000001. Die Werkzeugdaten sollten nach dem gleichen Prinzip erstellt werden, damit diese für zukünftige Werkzeuge anwendbar sind.

### 5.9.1 Implementierung der Standardisierung

Im ersten Schritt werden Werkzeuge nach ihrer Art klassifiziert. Alle vorhandenen Werkzeuge wurden in folgende Gruppen eingeteilt:

1. Einzelkomponente
2. Gesamtkomponente

**Einzelkomponente**

Einzelkomponenten bestehen ihrerseits aus

- Schneidwerkzeugen
- Aufnahmevorrichtungen bzw. Werkzeughalterungen
- Zubehöre (Verlängerungen, Bolzen, Spanzangen etc.)

Die Schneidwerkzeuge wurden in folgende Gruppen klassifiziert (siehe *Tabelle 8*):

**1. Bohrer**

Es werden acht Arten von Bohrern verwendet. Da Gewindeformer ähnlich wie Gewindebohrer bearbeitet und Maschinenreibahlen nach der Bohrung verwendet werden, wurden sie allesamt schlicht als Bohrer klassifiziert.

Wie *Tabelle 8* zeigt, wurden insgesamt zehn Arten von Bohrern klassifiziert, für ihre Abkürzung wurden vier Buchstaben verwendet, welche selbst aus zwei Teilen bestehen. Stammen die letzten zwei Buchstaben von der Art des Schneidwerkzeugs, z.B. Bo als Bohrer und FR als Fräser, dann basieren sie auf ihrem Verfahren bzw. ihrer Leistung. So ist GEBO beispielsweise ein Gewindebohrer.

**2. Senker**

Es gibt zurzeit Flach/ Plan-Senker und Kegelsenker.

**3. Sägen**

Sägen sind nicht verfügbar, stattdessen werden Scheibenfräser benutzt.

**4. Fräser**

Da einige Arten von Fräsern mehrere Namen haben, wurden einheitliche Namen für Werkzeuge angenommen. Ein Kugelkopffräser wird beispielsweise auch Kugelkopierfräser oder Vollradiusfräser genannt. Zudem beziehen sich einige aktuell verwendete Bezeichnungen auf ihre Fertigungsverfahren (z.B. Schruppfräser), deshalb wurden sie anhand ihrer physischen Eigenschaften eingeteilt.

**5. Sonstiges**

Die restlichen Werkzeuge, die zu keiner Gruppen gehören, wurden als „Sonstige“ definiert, wie z.B. Ausdrehwerkzeuge (siehe *Tabelle 8*).

In *Tabelle 9* sind zwölf Verlängerungen, Reduzierungen und weiteren Zubehöre aufgeführt, die üblicherweise für Werkzeughalter verwendet werden. Hier wurde die Abkürzung von Zubehören genauso wie das Format von Schneidwerkzeugen übernommen.

*Tabelle 10* führt die zwölf Gruppen der Werkzeughalter. Für jeden Werkzeughalter wurden dessen spezifische Eigenschaften inkludiert. Die neuen Bezeichnungen werden zusammengesetzt aus der Kurzform des Werkzeugnamens, Durchmesser, Schneiderzahl, Freistelllänge, Schaftausführung, Schaftdurmesser, Schneidstoff, Werkstoff etc.

| Nr. | Werkzeug Typ | Kurzform | Beschreibung |
|---|---|---|---|
| | | **Bohrer** | |
| 1 | Gewindebohrer | GEBO | für metrisch, feinmetrisch und Zoll |
| 2 | Gewindeformer | GEFO | für metrisch, feinmetrisch und Zoll |
| 3 | Maschinenreibahle | MREI | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 4 | Maschinenreibkopf | MREK | |
| 5 | NC-Anbohrer | NCBO | |
| 6 | Präzisionsbohrer | PRBO | |
| 7 | Spiralbohrer | SPBO | |
| 8 | Stufenbohrer | STBO | |
| 9 | Tieflochbohrer | TFBO | |
| 10 | Vollbohrer | VOBO | |
| 11 | Zentrierbohrer | ZEBO | |
| **Senker** | | | |
| 1 | Flachsenker | FLSE | |
| 2 | Kegelsenker | KGSE | |
| **Fräser** | | | |
| 1 | Doppelradiusfräser | DRFR | |
| 2 | Eckradiusfräser | ERFR | |
| 3 | Fasenfräser | FAFR | |
| 4 | Gewindefräser | GEFR | metrisch, feinmetrisch und Zoll |
| 5 | Kugelkopffräser | KKFR | |
| 6 | Schaftfräser | SFFR | |
| 7 | Scheibenfräser | SBFR | |
| 8 | Seegeringfräser | SGFR | |
| 9 | T-Nutenfräser | TNFR | |
| 10 | Viertelkreisfräser | VKFR | |
| 11 | Winkelfräser | WIFR | |
| 12 | Zirkularfräser | ZKFR | |
| **Sonstiges** | | | |
| 1 | Ausdrehwerkzeug | ADRW | |
| 2 | Doppelradiusmesserkopf | DRMK | |
| 3 | Eckmesserkopf | ECMK | |
| 4 | Planmesserkopf | PLMK | |

*Tabelle 8: Klassifizierung und Abkürzung von Schneidwerkzeugen*

| Nr. | Zubehörart | Kurzform | Beschreibung |
|---|---|---|---|
| 1 | Anzugsbolzen | ANZB | |
| 2 | Ausdrehwerkzeuge- Verlängerung | ADVL | |
| 3 | Basisverlängerung | BAVL | |
| 4 | Einschraubverlängerung | ESVL | |
| 5 | Fräsdornringe | FDRI | |
| 6 | Gewindeschneid-Schnellwechseleinsatz | GSWE | |
| 7 | Reduzierung für Einschraubfräser | RDEF | |
| 8 | Reibkopfverlängerung | RKVL | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 9 | Schrumpfverlängerung | SRVL | |
| 10 | Spannzangen | SPAZ | |
| 11 | zylindrische Verlängerung | ZYVL | |
| 12 | Wendeschneidhalter-Verlängerung für Ausdrehwerkzeuge | WHVL | |

*Tabelle 9: Klassifizierung & Abkürzung von Zubehören*

| Nr. | Werkzeughalter | Kurzform | Beschreibung |
|---|---|---|---|
| 1 | Aufsteckfräsdorn | AUFR | |
| 2 | Bohrfutter | BOFU | |
| 3 | Bohrstange | BOST | |
| 4 | Einschraubfräser | EIFR | |
| 5 | Gewindeschneid-Schnellwechselfutter | GEFU | |
| 6 | Halter für Reibköpfe | RKHA | |
| 7 | Hydro-Dehnspannfutter | HYDR | |
| 8 | Schrumpffutter | SRFU | |
| 9 | Spannzangenfutter | SZFU | |
| 10 | Weldon | WEDO | |
| 11 | Werkzeughalter für WSP-VOBO | WPVB | |
| 12 | Whistle-Notch-Aufnahme | WHNO | |

*Tabelle 10: Klassifizierung von Werkzeughaltern*

- **Gesamtkomponente**

Gesamtkomponenten bzw. gerüstete Werkzeuge bestehen aus Schneidwerkzeug, Werkzeughalter und, bei Bedarf, Zubehören. Die Daten der Werkzeuge werden sowohl als Einzel-, als auch als Gesamtkomponenten in das Tool-Management-System gespeichert und bearbeitet. Diese Bezeichnungen werden nach der Eintragung im SAP dem TMS zur Verfügung gestellt. Dann werden für die Einzel- und Gesamtkomponenten automatisch Ident.-Nummern generiert. Jedes Gesamtwerkzeug erhält eine Datamatrix, damit aktuelle Werkzeugdaten und Werkzeugstandorte festgelegt werden. Beispielsweise wird ein Schaftfräser mit Durchmesser 4 mm, Schneideranzahl 4, der Freistelllänge 18 mm, mit Schaftausführungsart Weldon, einem Schaftdurchmesser von 6 mm, mit Schneidstoff HSS und Werkstoffart folgendermaßen bezeichnet [42]:

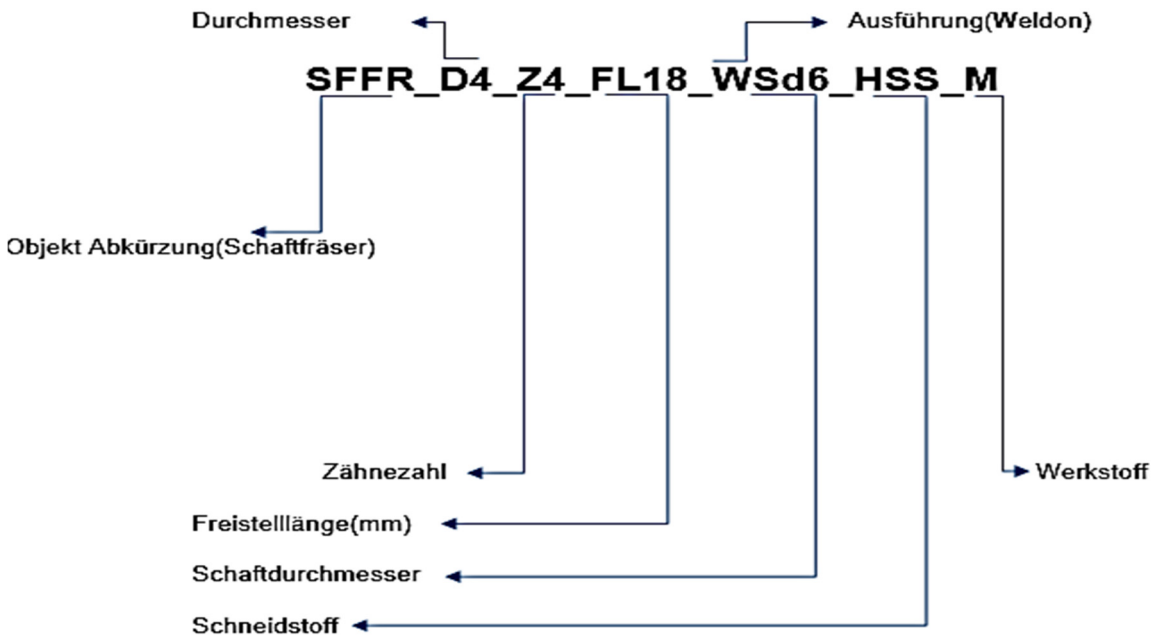


*Abbildung 22: Standardisierung der Ident.-Nr. eines Schaftfräsers basierend auf DIN4000*

*Tabelle 11* gibt die Bezeichnung von verschiedenen Werkzeugen für Einzel- und Gesamtkomponenten basierend auf DIN 4000 an. Die Werkzeuge verschiedener Gruppen erhalten ein einheitliches Format [16].

| Gerüstete Werkzeuge | Einzelkomponente (Schneidwerkzeug) | Beschreibung |
|---|---|---|
| SFFR_D4_AL54_VHM | SFFR_D4_Z4_Fl11_WSd6_VHM_P_IK | Schaftfräser, Ø, AL: Ausspannlänge, Freistelllänge(FL), Weldon(Schaftausführung), Innenkühlung; |
| KKFR_D10_AL99_VHM | KKFR_D10_Z4_FL45_GSd10_VHM_P | Anzahl der Zähne, glatter Schaft, P: Werkstoff |
| GEBO_M3_2,5xD_HSS | GEBO_M3_2,5xD_Sd3,5_HSS_N | metrisch (Gewindetyp), Durchmesser, Schaftdurchmesser, Schneidstoff |
| GEBO_MF4_1,5xD_HSS | GEBO_MF4x0,5P_1,5xD_Sd2,8_HSS_N | feinmetrisch, Steigung(P) |
| SPBO_D8_5xD_HSS | SPBO_D8_5xD_Sd8_135°_HSS_P | max. Bohrtiefe, Spitzenwinkel, Schneidstoff |
| KGSE_D2-8_60GR_HSSS | KGSE_D2-8_Sd2_60°_HSS_P | Spitzendurchmesser, größter Durchmesser |
| PLMK_D50_L40_HSS | PLMK_D50_Z4_Sd45_L50_HSS_P | Planmesserkopf, Gesamtlänge (L) |

*Tabelle 11: Werkzeugbezeichnungen basierend auf DIN 4000* [43], [44], [45], [46]

## 5.9.2 Soll-Ist-Vergleich

Es wurden insgesamt für zwölf Arten von Fräsern, dreizehn Arten von Bohrern, Gewindeformern, Maschinenreibahlen und Senkern, vier Arten von sonstigen Werkzeugen, zwölf Arten von Werkzeughaltern sowie zwölf Arten von Zubehören eine Bezeichnung erstellt. Insgesamt wurden Bezeichnungen von über 1000 aktuellen Werkzeugen standardisiert.

*Abbildung 23: Die neue Bezeichnung eines Fräsers nach DIN 4000*

### 5.9.3 Struktur der Datenbank

Da die Daten ohne aufwendiges Suchen erreichbar sein müssen soll die Datenbank auch strukturiert werden. Die Einzelkomponenten werden wie folgt klassifiziert:

1- Aufnahmen
   (a) HSKA63 Werkzeughalter
   (b) SK40 Werkzeughalter
   (c) SK50 Werkzeughalter
   (d) Verlängerungen
2- Schneiden
   (a) Bohrer
   - Gewindebohrer
     - metrisch (M)
     - feinmetrisch (FM)
     - Zoll (G)
   - Zentrierbohrer

   (b) Fasenfräser
   (c) Sonstiges
   (d) Zubehör

Die gerüsteten Werkzeuge werden erst nach der Schnittstellenart der Werkzeughalter und dann nach der Werkzeugart klassifiziert:

3- HSK-A63
- Bohrer HSK-A63
  - Vollbohrer HSK-A63
- Fräser SKA63
  - Doppelradiusfräser HSK-A63

### 5.9.4 Verwaltung der Daten

Für die Verwaltung der Daten wurden zwei Gruppen definiert: Hauptbenutzer und reguläre Benutzer. Da nur Key User/Hauptbenutzer die Daten verwalten, also speichern, löschen oder ändern können, können die Benutzer in Abhängigkeit von deren Tätigkeiten auf die Datenbank zugreifen.

# 6 Ergebnisse

Fünf Softwareanbieter haben ihre Software präsentiert - da TCM International seine Software nicht präsentiert hat, wurde das Unternehmen auch nicht evaluiert. Zoller und TDM Systems haben schließlich die Soll-Anforderungen besser als andere Anbieter erfüllt. Die Teilnehmer haben die Anbieter unter Berücksichtigung der Anforderungen mit einer Zahl zwischen 1 (nicht erfüllt) und 5 (vollkommen erfüllt) bewertet, dann wurden die Gesamtpunkte aus jedem Themenbereich berechnet und die Ergebnisse verglichen.

## 6.1 Auswertungen

*Tabelle 12* stellt die Ergebnisse der Evaluierung der Anbieter nach Themenbereichen dar. Die Zahlenwerte geben die evaluierten Gesamtpunkte jedes Themenbereichs sowie das Gesamtergebnis an.

- COSCOM war aus Sicht der Teilnehmer weder bei der Entwicklung, noch dem Prozesskreislauf ihrer Software (und bei der Schnittstelle ERP) befriedigend, jedoch wurde sie bei den Soll-Anforderungen im Bereich IT als sehr gut bewertet. In allen anderen Bereichen war die Punkteanzahl nicht genügend, um als bester Anbieter herauszuragen.
- NCSimul hat die Anforderungen im Bereich IT, Entwicklung, Prozesskreislauf, Unternehmen und Schnittstellen ERP und CAM nicht erfüllt. In den Kategorien Stammdaten und Maschine war das Produkt befriedigend.

| Themenbereich | COSCOM | NCSimul | TDM | WinTool | Zoller |
|---|---|---|---|---|---|
| Unternehmen | 58 | 38 | 104 | 79 | 73 |
| Analyse/Report | 59 | 71 | 124 | 59 | 126 |
| IT | 118 | 0 | 214 | 126 | 234 |
| Entwicklung | 0 | 9 | 12 | 11 | 27 |
| Schnittstelle ERP | 9 | 17 | 25 | 0 | 23 |
| Prozesskreislauf | 0 | 29 | 40 | 8 | 62 |
| Maschine | 56 | 137 | 135 | 56 | 107 |
| Bewegungsdaten | 37 | 80 | 79 | 33 | 118 |
| Materialwirtschaft | 19 | 45 | 49 | 26 | 53 |
| Schnittstelle CAM | 30 | 47 | 48 | 76 | 137 |
| Stammdaten | 73 | 126 | 126 | 103 | 187 |
| Gesamtergebnis | 459 | 599 | 956 | 577 | 1210 |

*Tabelle 12: Ergebnisse der Evaluierung der TMS-Anbieter*

- TDM Systems hat, den Bereich Schnittstelle ERP ausgenommen, alle Soll-Anforderungen erfüllt.

- WinTool war nur im Bereich IT und Stammdaten interessant, jedoch in anderen Bereichen nicht.
- Die Lösung von Zoller erfüllte die Soll-Anforderungen teilweise (z.B. im Bereich Anwendbarkeit der Software). Zoller hat die Teilnehmer vor allem bei den Anforderungen Analyse, IT, Maschine, Bewegungsdaten, Schnittstelle CAM und Stammdaten überzeugt.

*Abbildung 24* stellt das Ergebnis der Evaluierung der Produkte in jedem Themenbereich dar. Die Werte (Y-Achse) zeigen die Gesamtpunkte jedes Themenbereiches, die X-Achse die Themenbereiche.

Das Säulendiagramm visualisiert noch einmal graphisch, dass TDM und Zoller die Soll-Anforderungen im Bereich Analyse und IT-Technology erfüllten, hingegen die Anbieter COSCOM und WinTool nur teilweise. Im Bereich Schnittstelle ERP, Entwicklung und Prozesskreislauf ragt Zoller heraus. In den Kategorien Maschine, Bewegungsdaten, Materialwirtschaft und Stammdaten erfüllen die Zoller, TDM und NCSimul die Soll-Anforderungen am besten (in dieser Reihenfolge). Nach der Vorstellung des Unternehmens und des Teams (Standorte, Größe, Anzahl der Mitarbeiter usw.) erhielt TDM Systems mehr Punkte als alle anderen. Wie dem Diagramm zu entnehmen ist, können Zoller und TDM System in den meisten Themenbereichen die Soll-Anforderungen erfüllen.

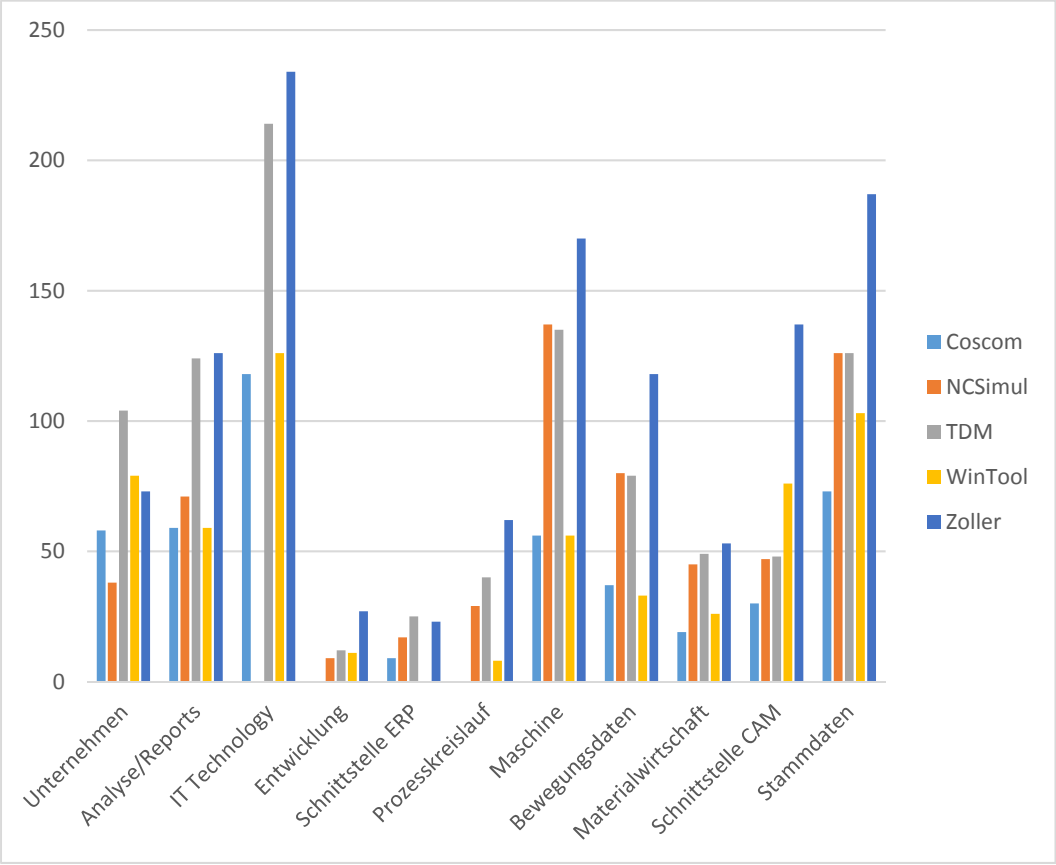


*Abbildung 24: Evaluierung der Anbieter*

Wie dem Spinnendiagram (*Abbildung 25*) zu entnehmen ist, erfüllen Zoller und TDM die Unternehmensanforderungen. Besonders in den Bereichen IT, Stammdaten und Maschine, die eine entscheidende Rolle für Anwender spielen, erfüllen Zoller und TDM die Soll-Anforderungen eher als andere Anbieter. Es stand nun fest, dass einer dieser beiden Anbieter den Zuschlag erhalten würde.

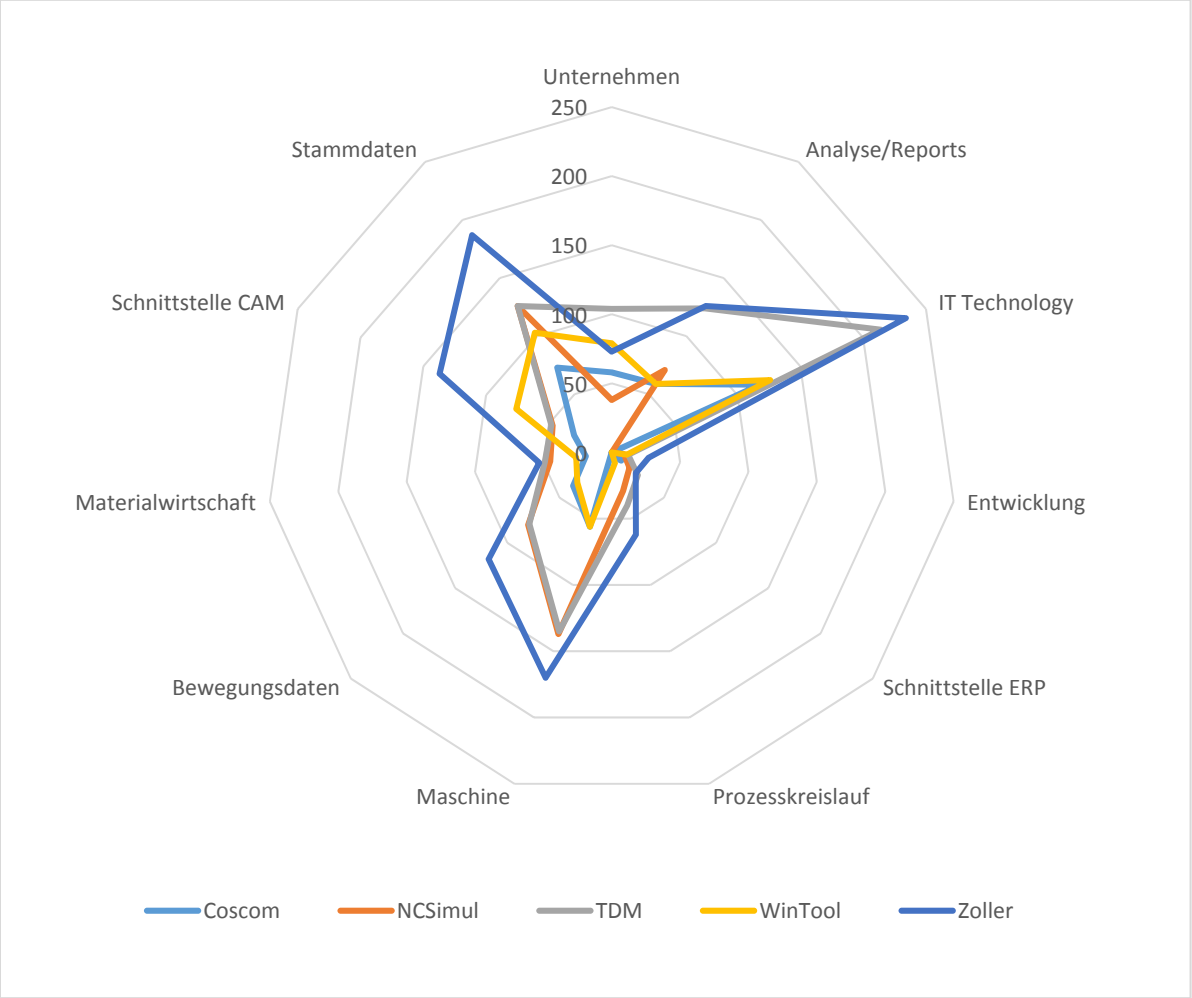


*Abbildung 25: Evaluierung der Softwareanbieter*

*Abbildung 26* und *Abbildung 27* ergeben sich aus der Evaluierung von Zoller und TDM (0=nicht zufrieden, 5=sehr zufrieden).

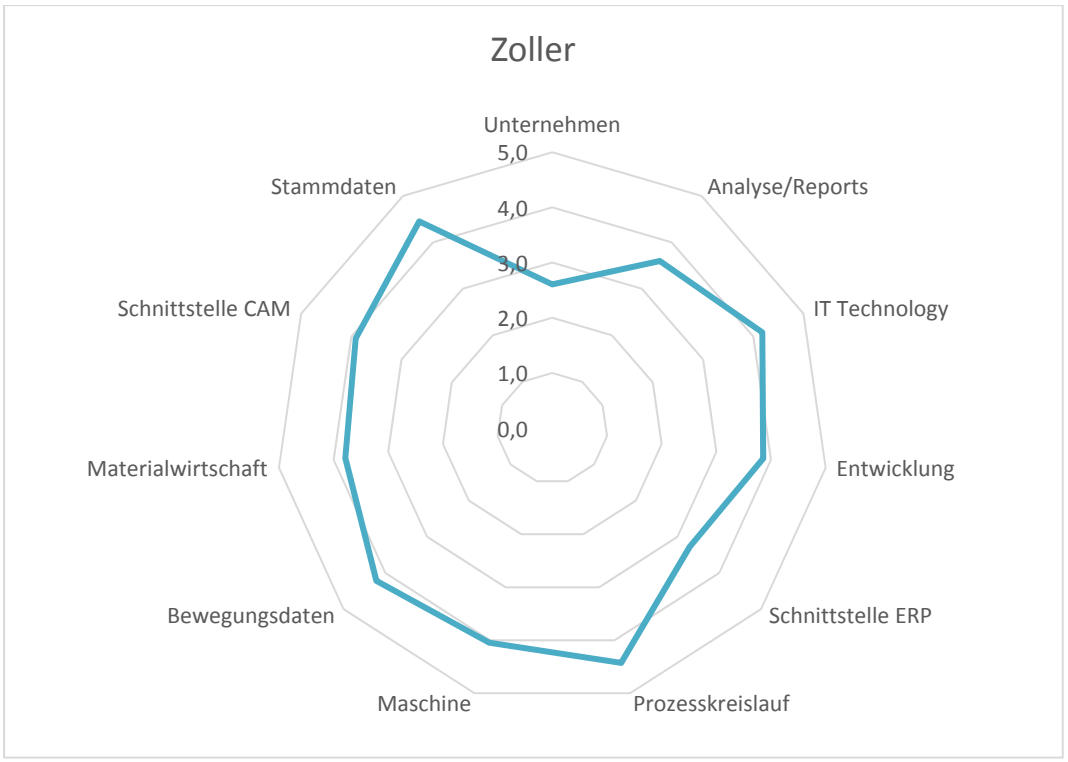


*Abbildung 26: Bewertung von Zoller*

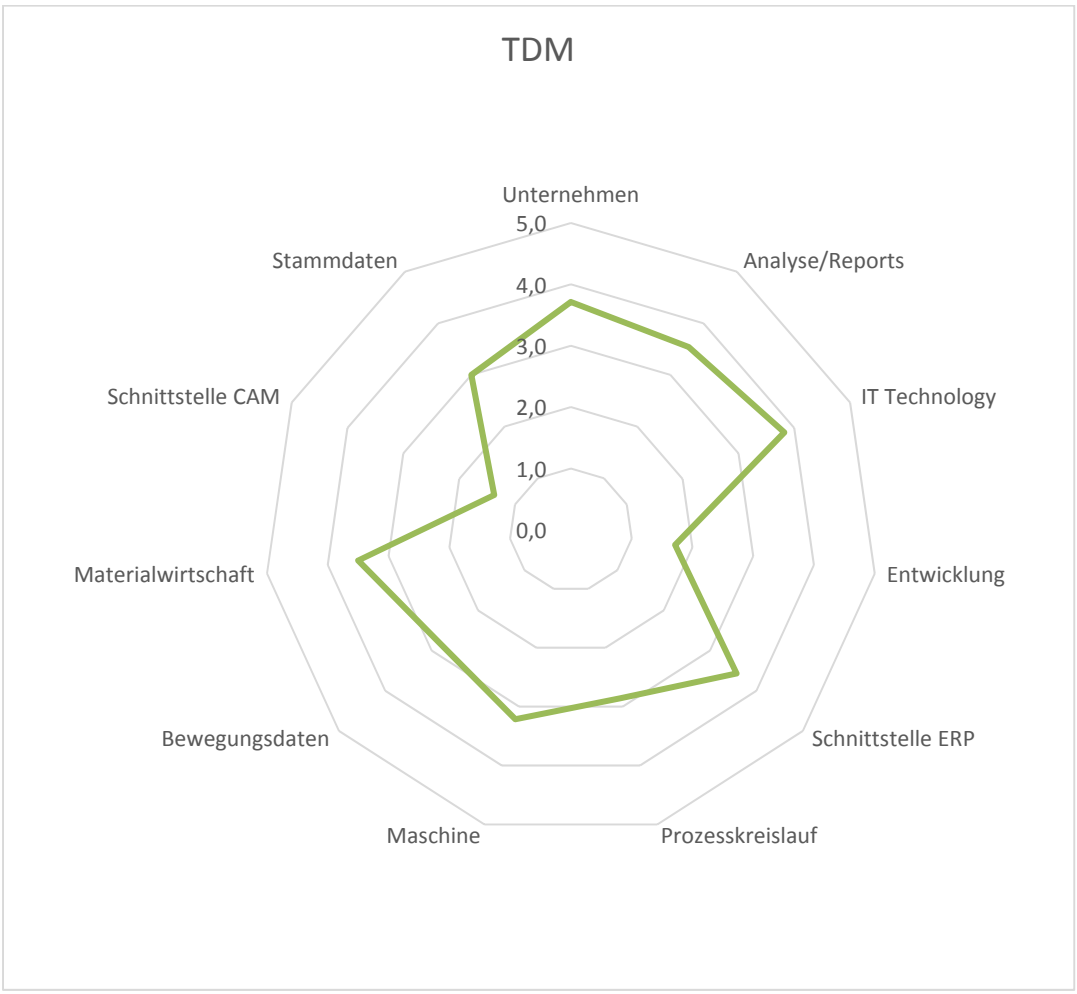


*Abbildung 27: Bewertung von TDM*

## 6.2 Entscheidung

Bei einem Vergleich der Angebote von Zoller und TDM fiel schlussendlich die Entscheidung zugunsten des Tool Management Systems von Zoller, da Zoller die Soll-Anforderungen (Anwendbarkeit und Funktionalität ihrer Software) den Präsentationsteilnehmern zufolge am besten erfüllt hat. Darüber hinaus wurden vor der Installation des TMS bereits einige Messanlagen und Softwarelösungen von Zoller verwendet, was den Vorteil hat, dass Mitarbeiter mit Zoller-Anlagen bereits vertraut waren. Außerdem hat Zoller einen Kostenvoranschlag unterbreitet, welcher im Rahmen des festgelegten Budgets von Welser Profile ist.

## 6.3 Weitere Vorgehensweise und Implementierungsstrategie

Der nächste Schritt bestand nun aus der Ausarbeitung eines Meilensteinplans durch Zoller unter Abstimmung mit Welser Profile, und aus der Definition gemeinsamer Arbeitsschritte beider Firmen. Die Implementierung wurde in folgende Arbeitsschritte unterteilt:

- Anlegen von Stammdaten basierend auf DIN 4000 in SAP
- Implementierung der automatisierten Lagerschrank- und Liftsystemen in der Fräsabteilung
- Einführung der Schnittstellen
- Einsetzen von Datamatrix und Balluff; Einführung des Workshops für die betroffenen Mitarbeiter und Key User
- Einführung in der Filiale in Bönen, Deutschland.

### 6.3.1 Speicherung von Stammdaten

Die Stammdaten werden in den SAP-Datenbanken und in der zentralen Datenbank gespeichert. Die Datenbank wird gemäß der bestimmten Rechtsverwaltung strukturiert, damit sie nach der Einführung des TM-Systems ohne Suchen erreichbar ist.

### 6.3.2 Fräsabteilung

Da die vorhandenen Lagerschränke und –Regale nicht geeignet waren, wurden sie mit kontrollierbaren und automatisierten Lagerschrank- sowie Leitsystemen in der Fräsabteilung ersetzt, nach dem Einigkeit über die Systemart und Marke (Kardex oder Lista) bestand. Dann wurden die verfügbaren Werkzeuge kontrolliert und wieder gemessen, damit die Werkzeuge eine Datamatrix erhalten und die Werkzeugdaten ins

TMS eingetragen werden konnten. Zudem wurde ein Datamatrixscanner besorgt und in der Fräsabteilung eingesetzt.

### 6.3.3 Schnittstellen

Zoller bietet die erforderlichen Schnittstellen zwischen den CAM-Systemen hyperMILL und PEPS sowie zu Lagerschrank- und Leitsystemen und den Datenbanken Oracle, MS SQL Server SAP zum Tool-Management-System an. Die Schnittstellen werden stufenweise implementiert, im ersten Schritt wird die Schnittstelle SAP/TMS für Lagerschrank- und Liftsysteme sowie für Messanlagen eingeführt, dann wird die Schnittstelle TMS/CAM-Systeme eingeführt und die CAM-Systeme mit der zentralen Datenbank vernetzt. Anschließend wird das Tool-Management-System mit den Steuerungssystemen an den NC-Maschinen durch die Balluff-Chips vernetzt.

### 6.3.4 Workshop und Schulung

Nach der erfolgreichen Implementierung wird Zoller einen Workshop leiten, um die Benutzer und Hauptbenutzer des Tool-Management-Systems einzuschulen.

Nach der Einführung wird überprüft, ob die Anwendung des Tool-Management-Systems die Fertigungsprozesse verbessert hat. Danach wird das TMS ebenfalls in der Filiale in Bönen, Deutschland eingeführt und mit dem TMS in Ybbsitz vernetzt.

# 7 Schlussfolgerung

Durch den Einsatz des Tool-Management-Systems werden die Rüstzeiten, die Suchzeiten von Werkzeugen, die Lagerkosten und die Werkzeugkosten reduziert. Folglich wird ein Stillstand von Maschinen minimiert, hingegen die Prozesssicherheit erhöht und im Endeffekt eine Produktivitätssteigerung erzielt. Mit der Reduktion der Rüstzeiten wird die Durchlaufzeit verkürzt. Durch die Verwendung dieses Systems werden Werkzeugbestellungen und Beschaffungen ebenfalls effizienter durchgeführt. Zudem wird erkannt, wo die Werkzeuge sich befinden und welche Werkzeuge für welche Maschinen zur Verfügung stehen. Die Werkzeugdaten werden lückenlos erfasst und Prozesse transparenter und effizienter ausgeführt, beispielsweise werden die Werkzeug-Ist-Daten fehlerfrei mit dem Matrix-Code an die NC-Maschinen übertragen. Welser Profile erwartet durch die Anwendung des Zoller Tool-Management-Systems eine Zeitersparnis von 15 Minuten pro Bediener und Schicht.

Zoller gibt an, dass der Einsatz des TM-Systems die Werkzeugkosten um 2% reduziert, sich die Produktivität hingegen um mindestens 5% pro Jahr erhöht. Zudem wird durch die Anwendung einer Datamatrix eine Zeitersparnis bis zu 45% bei der Übertragung von Werkzeugdaten an Maschinen erreicht. Betrachten wir es anhand eines Beispiels: Welche Ersparnisse hat das Unternehmen durch die Einführung des Zoller TM-Systems? Anhand der Angaben auf der Homepage von Zoller kann folgendes berechnet werden [4]:

Angenommen, zehn NC-Maschinen sind im Einsatz. Ein Werkzeugwechsel dauert für jedes Werkzeug 10 Minuten, obwohl alle NC-Maschinen nicht in allen Schichten im Betrieb sind. Der Maschinenstundensatz wurde auf 70 € geschätzt, 300 Schichten im Jahr werden vorausgesetzt, obwohl es jährlich minimal 243 Werktage gibt. Bei Welser Profile sind Mitarbeiter in drei Schichten pro Tag im Einsatz. Das bedeutet, dass es im Jahr bei Welser Profile 729 Schichten gibt. Die Angestellten arbeiten 8 Stunden pro Schicht, die Investitionskosten pro Maschine betragen 200.000 €, die Investitionssumme für Zoller Tool-Management-Solutions beträgt 80.000 €. Die Einsparung wird durch die Multiplikation der Arbeitsstunden pro Schicht mit der Anzahl der Schichten im Jahr, mit dem Maschinen Stundensatz, mit der Produktivitätssteigerung um 5% und der Anzahl der Maschinen berechnet. Folglich werden 84.000 Euro pro Jahr gespart, da eine Produktivitätssteigerung um 5% zu erwarten ist (siehe *Abbildung 28*).

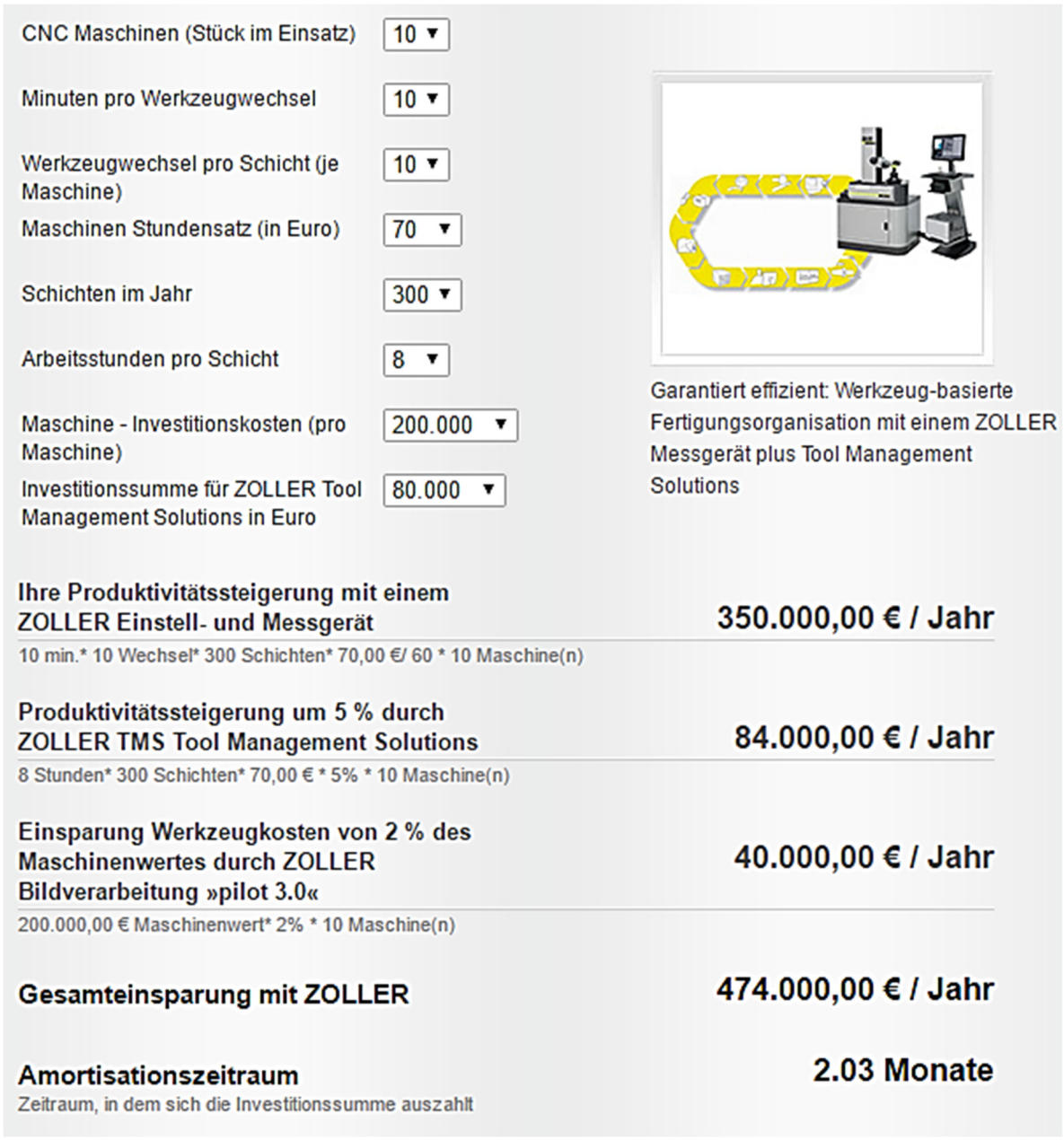


*Abbildung 28: Überprüfung der Wirtschaftlichkeit durch Zoller TMS* [4]

# 8 Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---|---|
| API | Application programming interface |
| bzw. | beziehungsweise |
| d.h. | das heißt |
| DIN | Deutsches Institut für Normung |
| DB | Datenbank |
| € | Euro |
| etc. | etcetera |
| Ident. | Identifikation |
| Ident.-Nr. | Identifikationsnummer |
| ISO | International Organization for Standardization |
| IT | Informationstechnology |
| max. | maximal |
| Min. | Minute |
| Nr. | Nummer |
| SAP | Systeme, Anwendungen, Produkte |
| sh. | siehe |
| Std. | Stunde |
| TM | Tool-Management |
| TMS | Tool-Management-System |
| u./o.Ä. | und/oder Ähnliche/s |
| VDI | Verein Deutscher Ingenieure |
| Wkz. | Werkzeug |
| WV | Werkzeugverwaltung |
| z.B. | zum Beispiel |

# 9 Literaturverzeichnis

[1] S. Weyer, M. Schmitt, M. Ohmer und D. Goreckey, „Towards Industry 4.0 Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor prodution systems," *Elsevier,* pp. 579-584, 31 August 2015.

[2] J. W. D. Z. D. L. C. Z. S. Wang, „Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination," *Elsevier,* pp. 158-168, 06 Januar 2016.

[3] K. G. S. Jinkyu Lee, „Development and use of a new task model for cyber-physical systems: A real-time scheduling perspective," *Elsevier,* pp. 45-56, 12 Januar 2017.

[4] E. Zoller GmbH, „www.Zoller.info.de," o.J.. [Online]. Available: www.zoller.de. [Zugriff am 20 August 2016].

[5] D.-I. U. Mussbach-Winter, „ERP und MES im Mittelstand: Chancen und Nutzen im Auftragsmanagement," Fraunhofer IPA, Stuttgart, Stuttgart, 2008.

[6] D. Frick, A. Gadatsch und U. G. Schäffer, Grundkkurs SAP ERP, Geschäftsprozess-orientierte Einführung, Wiesbaden, Deutschland: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, 2008.

[7] Gewatec Systemlösung, „www.gewatec.com," Systemlösung für Produktivitätsteigerung, o.J.. [Online]. Available: www.gewatec.com. [Zugriff am 20 Dezember 2016].

[8] VDI-Kompetenzfeld Informationstechnik (VDI-Berichte Nr.1847), Integriertes Fertigungsmanagement mit Manufacturing Execution System (MES), Düsseldorf: VDI Verlag GmbH, 2004.

[9] A. Deuter und S. Rizzo, „A critical view on PLM/ALM convergence in practice and research," *Elsevier,* Bd. Procedia Technology, Nr. 3rd International Conference on System-integrated Intelligence: New Challenges for Product and Production Engineering, SysInt 2016, pp. 405-412, 1 Oktober 2016.

[10] R. S. M. Eigner, Product Lifecycle Management, Deutschland: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.

[11] J. Milberg, „Schnittstellen und Vernetzung im Fertigungsvorfeld," in *Von CAD/CAM zu CIM*, München, Deutschland, Springer Book, 1992, pp. 89-90.

[12] S. Peiker, „Systematische Verbindungsmöglichkeiten," in *Entwicklung eines integrierten NC-Planungssystem*, Technische Universität München, Springer Berlin Heidelberg, 1989, pp. 27-40.

[13] A. Schmida, M. Löwer, T. Katzwinkel, W. Schmidt, J. Siebrecht, J. Feldhusen, C. Brechner, F. d. Bois-Reymond und J. Rey, „Life Cycle of Multi Technology Machine Tools –Modularization and Integral Design," *Elsevier,* Bd. Lehrstuhl und Institut für Allgemeine Konstruktionstechnik des Maschinenbaus der RWTH Aachen, pp. 719-726, 09 August 2016.

[14] TDM Systems GmbH, „www.tdmsystems.com," Softwarelösungen, o.J.. [Online]. Available: www.tdmsystems.com. [Zugriff am 09 August, Januar 2017].

[15] Verein deutscher Ingenieure, „www.vdi.de," Erarbeitung von Normen und Stanrdard, O.J.. [Online]. Available: https://www.vdi.de/technik/fachthemen/produkt-und-prozessgestaltung/fachbereiche/informationstechnik/themen/mes-manufacturing-execution-systems/. [Zugriff am 31 Januar 2017].

[16] DIN.de, „www.din.de," Normen &Standards, O.J.. [Online]. Available: www.din.de. [Zugriff am 1-30 August bis Februar 2016-2017].

[17] M. S. Christian Aichele, „IT-Projektmanagement," Springer Vieweg, Wiesbaden, Deutschland, 2014.

[18] GPM Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement e. V., „www.vdi-bb.de," O.J.. [Online]. Available: http://www.vdi-bb.de/ak/sqp/VDI-SQP/PM-Norm%20(akt.)%20ISO%2021500.pdf. [Zugriff am 23 Februar 2017].

[19] J. Varajao, R. Colomo-Palacios und H. Silva, „(Computer Standards & interfaces) ISO 21500:2012 and PMBoK 5 processes in information systems project management," *Elsevier,* pp. 216-222, 28 Sep 2016.

[20] J. Schwarze, Projektmanagement mit Netzplantechnik, Herne: Nwb Verlag 11. Aufl., 2014.

[21] C. Aichele, Intelligentes Projektmanagement, Stuttgart: Kohlhammer Verlag, 2006.

[22] Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN, DIN-Normen im Projektmanagement (Sonderdruck), Berlin: Beuth Verlag, 2009.

[23] I. S. Association, „www.standards.ieee.org," Standards, 2009. [Online]. Available: https://standards.ieee.org/findstds/standard/830-1998.html. [Zugriff am 20 August 2016].

[24] W. Sihn, P. Kuhlang und K. Matyas, Produktion und Qualität, München: Carl Hanser, 2016.

[25] D. Mourtzis, P. Papathanasiou und S. Fotia, „Lean Rules Identification and Classification for Manufacturing Industry," *Elsevier,* pp. 198-203, 9 August 2016.

[26] D. K. Schmitz, „Lean Transformation," Vorlesung TU Wien, S.S. 2014.

[27] M. N. A. Rahman, N. K. Khamis, R. M. Zain, B. Deros und W. H. W. Mahmood, „Implementation of 5S Practices in the Manufacturing Companies: A Case Study," *American Journal of Applied Sciences,* Nr. American Journal of Applied sciences, pp. 1182-1189, 2010.

[28] F. J. Brunner, Japanische Erfolgskonzepte, Wien/Ulm: Hanser, 2014.

[29] M. Mlkva, V. Prajova, B. Yakimovich, A. Korshunov und I. Tyurin, „Standardization - one of the tools of continuous improvement," *Elsevier,* pp. 329-332, 12 July 2016.

[30] N. K. Shimbun; Ltd./ Factory Magazine, Pka Yoke; Improving product Quality by Preventing Defects, Portland, Oregan: Norman Bodek, 1988.

[31] pdcahome.com, „http://pdcahome.com," O.J.. [Online]. Available: http://pdcahome.com/english/124/poka-yoke-a-method-to-create-a-safe-design/. [Zugriff am 14 12 2016].

[32] E. Leischner, Toyota; Ursachen für Erfolg & Aufstieg eines Automobileunternehmens, Hamburg, Deutschalnd: Bachelor+Master Publishing, 2015.

[33] R. Radharamanan, L. P. Godoy und K. I. Watanahe, „QUALITY AND PRODUCTIVITY IMPROVEMENT IN A CUSTOM-MADE FURNITURE INDUSTRY USING KAIZEN," *Elsevier,* Bde. %1 von %2Computers ind. Engng VoL 3I, No. 1/2, pp. 471 - 474,, pp. 471-474, 17 Februar 1999.

[34] ecoplus Niederösterreichs Wirtschaftsagentur GmbH, „www.ecoplus.at," Niederösterreichs Wirtschaftsagentur, o.J.. [Online]. Available:

https://www.ecoplus.at/interessiert-an/cluster-kooperationen/mechatronik-cluster/projekt-enterprise-40/. [Zugriff am 1-30 August 2016].

[35] W. P. Unterlagen, „www.Welser.at," O.J.. [Online]. Available: www.welser.com. [Zugriff am 1-30 August- Januar 2016].

[36] R. Koch, Das 80/20 Prinzip ( Mehr Erfolg mit weniger Aufwand), Frankfurt/ New York: Campus Verlag, 1997.

[37] Coscom GmbH, „www.coscom.de," Softwarelösung, o.J.. [Online]. Available: www.coscom.de. [Zugriff am 15 August 2016].

[38] Gühriing GmbH, „www.guehring.de," o.J.. [Online]. Available: www.guehring.de. [Zugriff am 20 August 2016].

[39] NCSimul, „www.ncsimul.com," o.J.. [Online]. Available: https://www.ncsimul.com/de/contenu.php?ID=62. [Zugriff am 11 August 2016].

[40] TCM Internatinal( Tool Consulting & Management GmbH), „www.tcm-international.com," o.J.. [Online]. Available: http://www.tcm-international.at/. [Zugriff am 08 August 2016].

[41] WinTool AG, „wintool.com," o.J.. [Online]. Available: http://www.wintool.com/wintool/de/. [Zugriff am 1-30 August-September 2016].

[42] R. Gomeringer, M. Heinzlar, R. Kilgus, V. Menges, F. Näher, S. Österle, C. Scholer, A. Stephan und F. Wieneke, Tabellenbuch Metall, Wien: Europa-Lehrmittel, Nourny, Vollmer GmbH, 2015.

[43] Catalog-Literature, „www.haimer.de," Werkzeug und -aufnahmen, o.J.. [Online]. Available: https://www.haimer.de/. [Zugriff am 25 August 2016].

[44] Catalogs-Literature, „www.kennametal.com," Tools, o.J.. [Online]. Available: www.kennametal.com. [Zugriff am 28 August 2016].

[45] Hofmann Katalog, „www.hofmann-group.com," Werkzeugproduktion, o.J.. [Online]. Available: www.hofmann-group.com. [Zugriff am 1-30 August-September 2016].

[46] LMT Tool Systems Catalog, LMT Tool Systems Catalog, Deutschland: LMT Tool Systems GmbH , 2015.

## Weiterführende Literatur

(1) Färser-shop Katalog, „www.fraeser-shop.de," o.J.. [Online].

(2) M. Holweg, „The genealogy of lean production," *Elsevier,* pp. 420-437, 06 May 2006.

(3) P. H. GmbH, Rotierende Werkzeuge, Holz 33-35, D-72072 Tübingen: Paul Horn GmbH, 2014/2015.

(4) S. &. S. Maringer: Werkzeugkatalog 15/0, Maringer, Spezialwerkzeuge & Schleiftechnik , Kobenz: Maringer, 2016.

(5) W. Eversheim, H. J. J. Kals, W. König. C.-A. van Luttervelt, J. Milberg, A. Storr, H.K. Tönshoff, M. Weck, H. Weule, W. J. Zdeblick: Artikel von einer Zeitschrift (Elsevier) „Tool Management: The Present and the Future," Elsevier, pp. 631-639, 08 Januar 2008.

(6) Maykestag: Hersteller-Katalog Salzburg, Austria: www.maykestag.com, 2013.

(7) F. Bleicher. Spanende Fertigung und Umformtechnik (Vorlesung-Skript). TU Wien: Institut für Fertigungstechnik & Hochleistungslasertechnik, Wien, 05.2013.

# 10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Automatisierungspyramide ..... 7
Abbildung 2: Gliederung von Schnittstellen [12] .....11
Abbildung 3: Vernetzung unterschiedlicher Komponenten rechnerintegrierter Produktion [11] .....12
Abbildung 4: Arten von Anforderungen in der Softwareentwicklung [17] .....21
Abbildung 5: Beispiel für Poka Yoke [31].....26
Abbildung 6: Arbeitsschritte der Evaluierung des TM-Systems .....30
Abbildung 7: Möglichkeiten zum Einsatz eines Werkzeugs .....31
Abbildung 8: Ist-Zustand der Werkzeuganforderung .....32
Abbildung 9: Ist-Zustand der Werkzeuganforderung Part 1:5.....33
Abbildung 10: Ist-Zustand der Werkzeuganforderung Part 2:5.....34
Abbildung 11: Ist-Zustand der der Werkzeuganforderung Part 3:5.....35
Abbildung 12: Ist-Zustand der der Werkzeuganforderung Part 4:5.....36
Abbildung 13: Ist-Zustand der Werkzeuganforderung Part 5:5.....37
Abbildung 14: Werkzeugkasten des Bereichs Werkzeugverwaltung .....39
Abbildung 15: Ist-Zustand der Ident.-Nummern von Werkzeugen .....40
Abbildung 16: Ablauf von Werkzeugvoreinstellen.....41
Abbildung 17: Ist-Prozess und Rüstzeitverlauf eines Werkzeugs.....42
Abbildung 18: Ursache-Wirkung-Diagramm für Werkzeugrüstzeiten.....46
Abbildung 19: Prozessanalyse des Werkzeugumrüstens .....48
Abbildung 20: Soll-Zustand der Schnittstellen nach der Einführung von TMS [35]....49
Abbildung 21: Produktivitätssteigerung als logische Konsequenz (TDM System) [14] .....60
Abbildung 22: Standardisierung der Ident.-Nr. eines Schaftfräsers basierend auf DIN4000 .....70
Abbildung 23: Die neue Bezeichnung eines Fräsers nach DIN 4000 .....71
Abbildung 24: Evaluierung der Anbieter .....73
Abbildung 25: Evaluierung der Softwareanbieter.....74
Abbildung 26: Bewertung von Zoller.....75
Abbildung 27: Bewertung von TDM .....75
Abbildung 28: Überprüfung der Wirtschaftlichkeit durch Zoller TMS [4] .....79

# 11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: VDI-Normen für MES [15] ..... 14
Tabelle 2: Gültige Normen für das Projektmanagement ..... 17
Tabelle 3: Ablauf des Werkzeugrüstens ..... 42
Tabelle 4: Analyse des Umrüstprozesses ..... 47
Tabelle 5: Anforderungskatalog ..... 56
Tabelle 6: Muss- und Soll-Kriterium ..... 58
Tabelle 7: Bewertungsbogen ..... 65
Tabelle 8: Klassifizierung und Abkürzung von Schneidwerkzeugen ..... 68
Tabelle 9: Klassifizierung & Abkürzung von Zubehören ..... 69
Tabelle 10: Klassifizierung von Werkzeughaltern ..... 69
Tabelle 11: Werkzeugbezeichnungen basierend auf DIN 4000 [43], [44], [45], [46] ..... 70
Tabelle 12: Ergebnisse der Evaluierung der TMS-Anbieter ..... 72