



Institut für Produktionsmanagement,
Technologie und Werkzeugmaschinen



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

CO\$TRA Life Cycle Costs Transparent

Abschlussbericht - Kurzfassung

Projektnummer: S-700

Projektlaufzeit:2005-2007

Projektbearbeiter: Dipl.-Wirtsch.-Ing. Marina Dervisopoulos

Institut für Produktionsmanagement,
Technologie und Werkzeugmaschinen
Technische Universität Darmstadt

Darmstadt 2008

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung des Projektes	3
2	Vorgehensweise im Projekt	4
3	Projektergebnisse.....	7
3.1	Grundlagen der LZK Berechnung.....	7
3.1.1	Entwicklung der Methode der Lebenszykluskosten.....	7
3.1.2	Übersicht über bestehende Methoden zur LZK Berechnung.....	8
3.2	Struktur der entwickelten Methode zur Berechnung der Lebenszykluskosten.....	11
3.2.1	Berücksichtigte Kostenelemente.....	13
3.2.2	Maschinenbeschaffung.....	14
3.2.3	Wartung und geplante Instandsetzung	14
3.2.4	Ungeplante Instandsetzung	15
3.2.5	Energiekosten	17
3.2.6	Druckluftkosten.....	17
3.2.7	Materialkosten	18
3.2.8	Raumkosten	18
3.2.9	Werkzeugkosten.....	18
3.2.10	Kapitalbindungskosten	18
3.2.11	Maschinenbediener	18
3.2.12	Stillstandskosten Ausfall.....	19
3.3	Modulare Funktions- und Komponentenstruktur der WZM.....	20
3.4	Funktionsgruppen und Bauteilgruppen	21
3.5	Generierung der Datengrundlage für Instandsetzungskennwerte	23
3.6	Beispiel einer LZK Analyse einer Werkzeugmaschine	26
3.6.1	Bedeutung der LZK im Vergleich zum Erstinvest.....	26
3.6.2	Analysebeispiel zum Wartungsaufwand	28
3.6.3	Analysebeispiel zum Energieaufwand	30
4	Struktur & Funktionsumfang des Softwaremodells	31
4.1	Erste Hauptebene: LZK Datenbank.....	31
4.1.1	Maschine anlegen	32
4.1.2	Werte zuordnen.....	35
4.1.3	Kostensätze.....	37
4.2	Zweite Hauptebene: LZK Berechnen	38
4.3	Analysebeispiele CO\$TRA Software.....	42
5	Veröffentlichungen	50

1 Zielsetzung des Projektes

Ziel des Verbundprojektes war es, ein allgemeingültiges Life-Cycle-Cost Konzept für den Maschinen- und Anlagenbau zu entwickeln, welches sowohl die zu berücksichtigenden Kostenelemente eindeutig definiert als auch Methoden anbietet, durch die eine Prognose der mit dem Kauf einer Maschine verbundenen Folgekosten ermöglicht wird. Im Rahmen des Projektes wurden dabei insbesondere auch Mechanismen entwickelt, durch die eine routinemäßige Übertragung von Informationen und Daten aus der Nutzungsphase des Betriebsmittels erreicht wird. Berücksichtigt werden sollten hierbei insbesondere die bereits bestehenden Methoden, Konzepte, Richtlinien und Normen zur Kalkulation der Lebenszykluskosten. Grundlegendes Ziel des Verbundprojektes war es somit, zunächst ein standardisiertes Referenzmodell zu entwickeln, welches dann auf die Situation der einzelnen Industriepartner angewandt werden kann. Die Lösungen, die im Rahmen des Verbundprojektes erarbeitet wurden, beschränken sich dabei auf die dem Maschinenanwender erwachsenden Lebenszykluskosten, d.h. auf den Erstinvest und die Gebrauchskosten.

Seitens der Maschinenhersteller bestand dabei der Bedarf, nicht nur die Lebenszykluskosten eines Betriebsmittels in einer unveränderbaren Konfiguration zu kennen, der Maschinenhersteller muß vielmehr innerhalb eines Verkaufsgespräches dem zukünftigen Maschinenanwender aufzeigen können, wie sich alternative Maschinenkonfigurationen auf die resultierenden Lebenszykluskosten auswirken. Insbesondere sollte die Möglichkeit geschaffen werden, die Vorteilhaftigkeit eines höheren Erstinvestes im Vergleich zu niedrigeren Gebrauchskosten darzustellen. Diesem Sachverhalt wurde im Rahmen des Projektes Rechnung getragen, indem Kostenelemente zunächst einzelnen Modulen eines Fertigungskonzeptes (Bearbeitungszentrum, Peripherie, Verkettungssystem, etc.) zugewiesen werden. Die Module können dann einzelfallspezifisch kombiniert werden. Die Methodik sollte es weiterhin ermöglichen, neben einer Abschätzung der Lebenszykluskosten einzelner Maschinen/Anlagen eine Abschätzung der Kosten pro gefertigtem Werkstück durchzuführen. Die ist insbesondere bei der aktuell zu beobachtenden Tendenz, Betreibermodelle einzuführen, auch für den Maschinenhersteller von besonderem Nutzen.

Die Ergebnisse des Projektes sollten softwaretechnisch umgesetzt werden, so dass es dem Maschinenhersteller ermöglicht wird, dem Kunden bereits im Planungsstadium aufwandsarm Auskunft über die mit dem Kauf eines Betriebsmittels/Fertigungskonzeptes verbundenen Kosten zu geben. Durch die Variation der im Modell hinterlegten Eingangsparameter sollte es hierbei ermöglicht werden, die spezifischen Situationen des jeweiligen Kunden präzise abzubilden. Zusätzlich sollte die Software dem Maschinenhersteller ermöglichen, gemeinsam mit dem Kunden verschiedene Szenarien zu erproben, um somit zukünftige Entwicklungen als „worst case“ beziehungsweise „best case“ abzubilden. Hierzu zählt beispielsweise auch die Möglichkeit, den Kunden Kosten-Nutzen-Vergleiche unterschiedlicher Varianten aufzuzeigen.

2 Vorgehensweise im Projekt

Zu Beginn des Projektes wurde der Stand der Technik auf dem Gebiet der Lebenszykluskosten in Wissenschaft und Praxis erhoben. Bestehende Ansätze zur Modellierung der Lebenszykluskosten wurden hinsichtlich der berücksichtigten Kostenelemente und der Berechnungsmodelle verglichen. Neben den aktuellen Normen wie beispielsweise VDMA 34160, VDI 2884+2885 wurden dabei insbesondere auch die Lebenszykluskostenkonzepte der Automobilhersteller und deren Zulieferer (TCO DaimlerChrysler, Ford, Bosch,...) berücksichtigt.

Ausgehend hiervon wurden zusammen mit den Industriepartnern die Anforderungen an das zu entwickelnde Modell zur Kalkulation der Lebenszykluskosten erarbeitet. Hierzu wurden beispielsweise anhand von Betriebsaufzeichnungen, Serviceberichten, Messungen sowie Expertenbefragungen die wesentlichen Kostentreiber im Lebenszyklus einer Werkzeugmaschine ermittelt und definiert, welche dieser Kostenelemente im Modell berücksichtigt werden sollen. Die Analysephase erfolgte unter Beteiligung mehrerer Unternehmensbereiche (bspw. Vertrieb, Entwicklungsabteilung, Kundenservice), um das im Unternehmen vorhandene, teilweise aber stark verstreute Wissen zusammenzuführen. Zusammen mit den Maschinenherstellern wurden die bestehenden Konzepte ausgewählter Maschinenanwender zusammengestellt.

Unter Zugrundelegung der identifizierten Kostentreiber und Kostenelemente wurden Methoden zur Bestimmung der Lebenszykluskosten entwickelt. Besonderer Wert wurde dabei auf die Standardisierung der benötigten Eingangsdaten, Schnittstellen und Prozesse gelegt, um abschließend ein generisches Referenzmodell zu erhalten, welches über den Kreis der direkten Industriepartner hinaus anwendbar ist.

Die im Projekt CO\$TRA entwickelte Vorgehensweise zur Berechnung der LZK baut dabei auf den bereits existierenden Methoden auf. Insbesondere wurden die Berechnungsregeln des VDMA Einheitsblattes 34160 und des TCO Konzeptes von Daimler Chrysler übernommen. Insbesondere Daimler Chrysler fordert vermehrt von den Maschinenherstellern TCO Angebote. Die Software von CO\$TRA unterstützt hierdurch die Maschinenhersteller bei der Erstellung dieser Angebote und stellt nicht ein „Parallelkonzept“ zu diesen dar. Im Unterschied zu den bereits existierenden Modellen wird jedoch nicht nur die Kostenseite, sondern auch die Leistungsseite der Werkzeugmaschine berücksichtigt. Dies erfolgt, indem die Berechnung optional auch auf Stückkosten und Stückerlöse bezogen werden kann. Hierdurch wird es den Werkzeugmaschinenherstellern ermöglicht, die Vorteilhaftigkeit ihrer Maschinen stärker darzulegen als dies durch einen reinen Kostenvergleich möglich ist. Gerade die Maschinenkonzepte deutscher Werkzeugmaschinenhersteller erfordern üblicherweise einen hohen Erstinvest, bieten dem Kunden dafür aber neben einer hohen Genauigkeit eine hohe Leistungsfähigkeit (z.B. gemessen in kurzen Prozesszeiten). Dieser Sachverhalt kann anhand der Berechnungsmethode, die im Softwaremodell von CO\$TRA implementiert wurde, dargestellt werden.

Darüber hinaus wurden zusammen mit den Industriepartnern Szenarien entwickelt, die im Referenzmodell hinterlegt wurden und die im Verkaufsgespräch mit Kunden „durchgespielt“ werden können. In diesen Szenarien werden sowohl betriebsmittelabhängige als auch betriebsmittelunabhängige Einflussfaktoren variiert. Zu diesen zählen beispielsweise der Auslastungsgrad der Maschine, das

Maschinenbedienverhältnis oder die Belastung der WZM durch den Prozess, das Energiemanagement, Arbeitszeitmodelle oder eine unterschiedliche Leistungsfähigkeit des Herstellerservicepersonals.

Für den erfolgreichen Einsatz und Weiterentwicklung des erstellten Referenzmodells ist die Verfügbarkeit und Qualität der verwendeten Datengrundlage für die Berechnung der Lebenszykluskosten der Maschine Grundvoraussetzung. Vielfach stehen den Maschinenherstellern die hierfür benötigten Daten (insbesondere Daten zu MTBF und MTTR Werten) heute jedoch noch nicht ausreichend zur Verfügung. Die Werte werden aus diesem Grund von den Maschinenherstellern zumeist lediglich geschätzt und nicht systematisch ermittelt. Verfügbare Informationen, z.B. aus Serviceberichten, werden nicht ausreichend genutzt. Im Rahmen des Projektes wurde aus diesem Grund, als zweiter Schwerpunkt der Projektarbeit, eine Datenstruktur entwickelt, die es ermöglicht, gezielt Lebenszykluskostenrelevante Informationen in geeigneter Form zu strukturieren, zentral zu speichern und für Analysen verfügbar zu halten. Diese Datenstruktur wurde in dem entwickelten Softwaretool in eine „Maschinenlebenslaufdatenbank“ überführt, aus der die Daten nach Bedarf abgerufen und für Berechnungen genutzt werden können. Die Einzelbausteine der entwickelten Methodik sind in Abbildung 1 dargestellt.



Abb. 1: Bausteine der entwickelten Methodik



Institut für Produktionsmanagement,
Technologie und Werkzeugmaschinen



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Die Projektergebnisse wurden in einer Software die auf Visual Basic und Microsoft Access basiert umgesetzt.

3 Projektergebnisse

3.1 Grundlagen der LZK Berechnung

3.1.1 Entwicklung der Methode der Lebenszykluskosten

Das Grundkonzept der Lebenszykluskosten wurde zunächst für Großprojekte angewandt. Ziel war es, bei Investitionsentscheidungen neben den Anschaffungskosten auch den zunehmend größer werdenden Teil der Folgekosten zu berücksichtigen. Dabei standen die Interessen der Nutzer immer im Vordergrund. Die historische Entwicklung des Lebenszykluskosten-konzeptes lässt sich in 3 Stufen unterteilen: Die Konzentration auf Großprojekte beim Militär, die Erweiterung auf öffentliche und private Gebäude und letztlich die Übertragung auf Investitionsgüter allgemein.

Die ersten Ansätze zur Betrachtung der Gesamtkosten von Investitionen entstanden in den 1930er Jahren durch das General Accounting Office (GAO) in den USA. Bei der Beschaffung von neuen Traktoren forderte der Controller des GAO nicht nur die Anschaffungskosten, sondern auch die Betriebs- und Wartungskosten verbindlich beim Entscheidungsprozess zu berücksichtigen. Die Investitionsentscheidung sollte für die Traktoren mit den geringsten Gesamtkosten bei einer vorgegebenen Betriebszeit von 8.000 Stunden fallen. Die erste systematische Befassung mit dem Thema findet sich ebenfalls in den USA, allerdings erst in den 1960er und 1970er Jahren, bei Projekten im Bereich der Luft- und Raumfahrt sowie beim Erwerb von Waffensystemen. Im Jahr 1971 wurde dann vom amerikanischen Verteidigungsministerium, dem Department of Defense (DoD), der Begriff und Umgang mit Lebenszykluskosten zum ersten mal in einer Richtlinie, der DoD Directive 5000.1 zur „Acquisition of Major Defense Systems“ verankert. Im weiteren Verlauf wurde das Konzept der Lebenszykluskosten in den USA auch beim Bau oder Leasing von Gebäuden angewendet.

In der folgenden Zeit wurde das Konzept auf verschiedene Branchen und technologische Produkte, insbesondere auf Industriegüter, übertragen. Ein Beispiel hierfür ist die 1985 von Bill Kirwin von der Unternehmensberatung Gartner entwickelte Berechnungsmethode, die unter dem Begriff der Total Cost of Ownership (TCO) bekannt wurde. Ziel war die Prognose der direkten und indirekten Kosten, die mit dem Erwerb von IT (Software und Hardware) verbunden ist. Die Institutionalisierung im Maschinen- und Anlagenbau erfolgte beispielsweise anhand der vom VDI 2003 erlassenen Richtlinie 2884 zur Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung von Produktionsmittel unter Anwendung von Life Cycle Costing oder dem 2006 veröffentlichten VDMA Einheitsblatt 34160, einem Prognosemodell für die Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen. Intensiviert wurde die Beachtung der Lebenszyklus-kosten im Maschinen- und Anlagenbau auch durch die zunehmende Integration von Lebenszykluskostendaten in die Beschaffungsentscheidung der Automobilindustrie.

3.1.2 Übersicht über bestehende Methoden zur LZK Berechnung

Im Zusammenhang mit Lebenszykluskosten existieren eine Reihe von Normen und Anwendungsleitfäden, aus denen entnommen werden kann, welche Kostenelemente bei der Analyse von Lebenszykluskosten berücksichtigt werden sollten und wie diese ermittelt beziehungsweise berechnet werden können. Eine Auswahl dieser Normen und Leitfäden wird im Folgenden kurz vorgestellt.

Die meisten Normen und Leitfäden konzentrieren sich auf eine detaillierte Beschreibung der Instandhaltungsphase. Die Bewertung erfolgt teilweise anhand qualitativer, teilweise anhand quantitativer Faktoren. Einen breiten Fokus hinsichtlich der LZK Bewertung empfiehlt der VDI, der neben den Instandhaltungskosten unter anderem auch Raumkosten, Kosten der Ersatzteilbevorratung sowie Kosten für Betriebs- und Hilfsstoffe berücksichtigt, ergänzt um die Bewertung der Kosten und Erlöse der Nachnutzungsphase (d.h. Außerbetriebnahme- und Verwertungskosten). Die Analyse der LZK als nützlichen Input in der Entwurfsphase eines Produktes betont die DIN 60300-3-3, in deren Fokus die Zuverlässigkeit der betrachteten Produkte steht. Die Zielsetzung des aktuell vorgestellten VDMA-Einheitsblattes liegt in der Standardisierung von LZK Bewertungen für Maschinen und Anlagen, um die Vergleichbarkeit von LZK Aussagen sicherzustellen. Hierfür werden die über den Lebenszyklus von Maschinen und Anlagen anfallenden Kosten, unterteilt in die Phasen Entstehung, Betrieb und Verwertung, tabellarisch aufgezählt. Die LZK ermitteln sich durch ein reines Aufsummieren der Kostenelemente. Unberücksichtigt bleiben dabei der zeitliche Anfall der Kosten sowie die Betrachtung der aus der Nutzung einer Maschine oder Anlage resultierenden Erlöse. Einen Überblick über bestehende Normen gibt Abbildung 2.

Norm / Leitfaden	Titel der Norm	Ziel der Norm	Berücksichtigte Lebenszyklusphasen	Grundlage der Bewertung	Bewertungskriterien und Kostenelemente (exemplarisch)
VDI 2884	Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung von Produktionsmitteln unter Anwendung von Life Cycle Costing	<ul style="list-style-type: none"> • Unterstützung Betreiber bei Auswahl • Beurteilungsrahmen für den Hersteller für innovative Konfigurationen 	<ul style="list-style-type: none"> • Beschaffung • Besitz/Nutzung • Entsorgung 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualitativ • Quantitativ 	<ul style="list-style-type: none"> • Maschinenbeschaffung • Betriebs- und Hilfsstoffe • Instandhaltungskosten • Leistungs- und Qualitätsangaben • Außerbetriebnahme und Verwertung
VDI 2885	Einheitliche Daten für die Instandhaltungsplanung und Ermittlung von Instandhaltungskosten	Eindeutige Beschreibung von Instandhaltungsprozessen als Grundlage für den Austausch zwischen Hersteller und Lieferant	<ul style="list-style-type: none"> • Besitz/Nutzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualitativ • Quantitativ 	<ul style="list-style-type: none"> • Mengenleistung, Maschinenfähigkeit, Verfügbarkeit etc. • Instandhaltungsplan für Inspektion, Wartung, Instandsetzung (mit Angaben zu Intervall, Ausfallzeit, Mitarbeiterqualifikation ...) • Lebensdauer von Verschleißteilen • Leistung des Hersteller-Service
VDI 2891	Instandhaltungskriterien bei der Beschaffung von Investitionsgütern	Transparenz der instandhaltungsrelevanten Ereignisse	<ul style="list-style-type: none"> • Besitz/Nutzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualitativ • Quantitativ 	<ul style="list-style-type: none"> • Kostentreibende Kriterien der Instandhaltung, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Zuverlässigkeit • Instandhaltungsaufwand
VDMA 34160	Prognosemodell für die Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen	Definition Kostenelemente und Formeln der Berechnung	<ul style="list-style-type: none"> • Beschaffung • Besitz/Nutzung • Entsorgung 	<ul style="list-style-type: none"> • Quantitativ 	<ul style="list-style-type: none"> • Anschaffungspreis, Installation, Zoll... • Wartung, Instandsetzung, Energie, Raum, Werkzeuge,... • Demontage, Verschrottung...
VDI 2893	Auswahl und Bildung von Kennzahlen für die Instandhaltung	Definition von Kennzahlen für zielorientierte Ausrichtung der Instandhaltung.	<ul style="list-style-type: none"> • Besitz/Nutzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualitativ • Quantitativ 	<ul style="list-style-type: none"> • Kennzahlenkatalog zur Instandhaltung
VDI 4004 Blatt 3	Kenngößen der Instandhaltbarkeit	Definition von Kriterien zur Bewertung der Instandhaltbarkeit.	<ul style="list-style-type: none"> • Besitz/Nutzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualitativ • Quantitativ 	<ul style="list-style-type: none"> • Instandhaltung • Kennzahlen (z.B. MTBF) und qualitative Beurteilungsgrößen (Zugänglichkeit...)
VDI 4004 Blatt 4	Zuverlässigkeitskenngrößen Verfügbarkeitskenngrößen	Definition von Verfügbarkeitskenngrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Besitz/Nutzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualitativ • Quantitativ 	<ul style="list-style-type: none"> • Instandhaltung
VDI 3423	Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen	Definition der Begriffe, Zeiterfassung und Berechnung der Verfügbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Besitz/Nutzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Quantitativ 	<ul style="list-style-type: none"> • Instandhaltung
DIN 31051	Grundlagen der Instandhaltung	Definition der Begriffe der Instandhaltung	<ul style="list-style-type: none"> • Besitz/Nutzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualitativ 	<ul style="list-style-type: none"> • Instandhaltung
DIN EN 60300-3-3	Anwendungsleitfaden Lebenszykluskosten	Beschreibung Zweck, Vorgehen und Elemente der LZK Analyse	<ul style="list-style-type: none"> • Beschaffung • Besitz /Nutzung • Entsorgung 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualitativ • Quantitativ 	<ul style="list-style-type: none"> • Formel und Kostenelemente • Investitionsrechnung • Beispielrechnung
DIN EN 61703	Mathematische Ausdrücke	Mathematischer Ausdrücke und Formeln	<ul style="list-style-type: none"> • Besitz/Nutzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Quantitativ 	<ul style="list-style-type: none"> • Funktionsfähigkeit • Verfügbarkeit • Instandhaltbarkeit • Instandhaltungsbereitschaft

Abb. 2: Anwendungsleitfäden und Normen im Zusammenhang mit LZK

Ergänzend hierzu pflegen einige Automobilhersteller, wie beispielsweise DaimlerChrysler, die Ford Motor Company und Fiat Powertrain Anforderungen an die Ermittlung von lebenszyklusrelevanten Werten, wobei sich bislang auch diese auf den Bereich der Instandhaltung konzentrieren.

Das TCO-Modell von DaimlerChrysler gilt als eines der am stärksten etablierten in der Branche. Bevor ein Produktionsmittel angeschafft wird, muss der Hersteller ein sogenanntes TCO-Formular ausfüllen.

Dort wird zunächst das Produktionssystem in verschiedene Funktionsgruppen aufgeteilt. Diese Funktionsgruppen wiederum bestehen aus mehreren Bauteilgruppen.

In wie viele Funktions- bzw. Bauteilgruppen das Produktionssystem aufgeteilt wird, ist vorher nicht festgelegt und kann von dem Hersteller individuell festgelegt werden. Daimler Chrysler gibt Kennzahlen vor für die der Hersteller für jede Bauteilgruppe die entsprechenden Angaben machen muss. Hierzu zählen beispielsweise die folgenden:

- durchschnittliche Zeit zwischen den Störungen = MTBF in Stunden (Der MTBF - Wert einer Maschine oder Anlage gibt die durchschnittliche Zeit zwischen den Störungen. Für die genaue Definition der MTBF von DaimlerChrysler siehe Begriffliche Grundlagen)
- durchschnittlicher Reparaturaufwand = MTTR in Stunden (Der MTTR - Wert einer Maschine oder Anlage ist der durchschnittlich zu erwartende Zeitaufwand bezogen auf einen Mitarbeiter, der zur Störungsbeseitigung benötigt wird. Für die genaue Definition der MTTR von DaimlerChrysler siehe begriffliche Grundlagen)
- durchschnittliche Ersatzteilkosten = MCRP in Euro (MCRP beschreibt die zu erwartenden durchschnittlichen Ersatzteilkosten einer Bauteilgruppe bezogen auf eine Störung (Reparatur oder Wechsel). Für die genaue Definition der MCRP von DaimlerChrysler siehe Begriffliche Grundlagen)

Das Berechnungsmodell von DaimlerChrysler konzentriert sich auf die Kosten, die in der Phase der Nutzung entstehen, wobei nur einige ausgewählte Kosten betrachtet werden. Bislang unberücksichtigt bleiben zum Beispiel die Energie- und Druckluftkosten.

3.2 Struktur der entwickelten Methode zur Berechnung der Lebenszykluskosten

Für die kostenorientierte Lebenszyklusbewertung von Maschinen und Anlagen bietet sich eine Dreiteilung der Lebensphasen an, aus diesen Phasen lassen sich dann die wesentlichen Kostengruppen einer Maschine oder Anlage ableiten. Dies sind die Kosten der Anschaffungsphase, der Nutzungsphase und der Nachnutzungsphase (vgl. Abbildung 3). Prinzipiell sollten zusätzlich zu den Kosten immer auch die Leistung, Funktionsfähigkeit und andere Merkmale (wie zum Beispiel ergonomische Eigenschaften) berücksichtigt werden.

Die im Projekt CO\$TRA entwickelte Methode zur Berechnung der Lebenszykluskosten konzentriert sich auf die Phase der Maschinenanschaffung sowie auf die Phase der Maschinennutzung beim Maschinenanwender. Die Phase „Nach der Nutzung“, d.h. der Restwert der Maschine oder gegebenenfalls anfallende Kosten für die Entsorgung der Maschine werden nicht berücksichtigt.

Hauptphasen im Lebenszyklus	Kostengruppen der Lebenszyklusanalyse
Konzept & Definition Entwurf & Entwicklung Herstellung Einbau	Anschaffungsphase: Der Anschaffungsphase werden prinzipiell sämtliche Kosten zugerechnet, die im Rahmen der Beschaffung und Bereitstellung eines Investitionsgutes anfallen. Hierzu zählen neben dem reinen „Preis“ bzw. den Herstellkosten unter anderem der Aufwand für die Installation und Inbetriebnahme, der Transport, die Abnahme sowie die Mitarbeiterschulung.
Betrieb & Instandhaltung	Nutzungsphase: Während der Nutzungsphase wird der gesamte durch den Besitz und die Nutzung bedingte Aufwand betrachtet. Neben Betriebsstoffen wie etwa Energie und Schmierstoffen werden Raumkosten, Instandhaltung, Werkzeugkosten, Kosten für Ersatzteile sowie weitere Nutzungskosten berücksichtigt.
Entsorgung	Nachnutzungsphase: Die Betrachtung der Phase nach der Nutzung des Investitionsgutes ermöglicht die Beurteilung der kostenmäßigen Wirkung, die mit der Ausmusterung oder Überholung eines Investitionsgutes (z.B. durch Entsorgungskosten, Restwert oder Rekonfiguration) verbunden ist.

Abb. 3: Klassische Dreiteilung der Lebenszykluskosten eines Investitionsgutes

Die Lebenszykluskostenrechnung kann, bei der im Projekt CO\$TRA entwickelten Methodik, sowohl auf Ebene der kumulierten Gesamtkosten für einen frei wählbaren Betrachtungszeitraum, auf Ebene der Stückkosten sowie auf Ebene der Lebenszykluskosten pro Jahr durchgeführt werden. Zusätzlich hierzu sind auch klassische betriebswirtschaftliche Analysen (z.B. Break-Even-Analyse und Pay-Back-Analyse) integriert worden.

Als Investitionsrechnungsverfahren wurde eine statische Investitionsrechnung zugrunde gelegt.

Die Werte werden auf Basis der einzelnen Baugruppen bzw. Funktionsgruppen einer Maschine zugewiesen. Dies erhöht zum einen die Transparenz über die

Kostenverursacher zum anderen ermöglicht es Analysen hinsichtlich der Beeinflussbarkeit der Kosten durchzuführen.

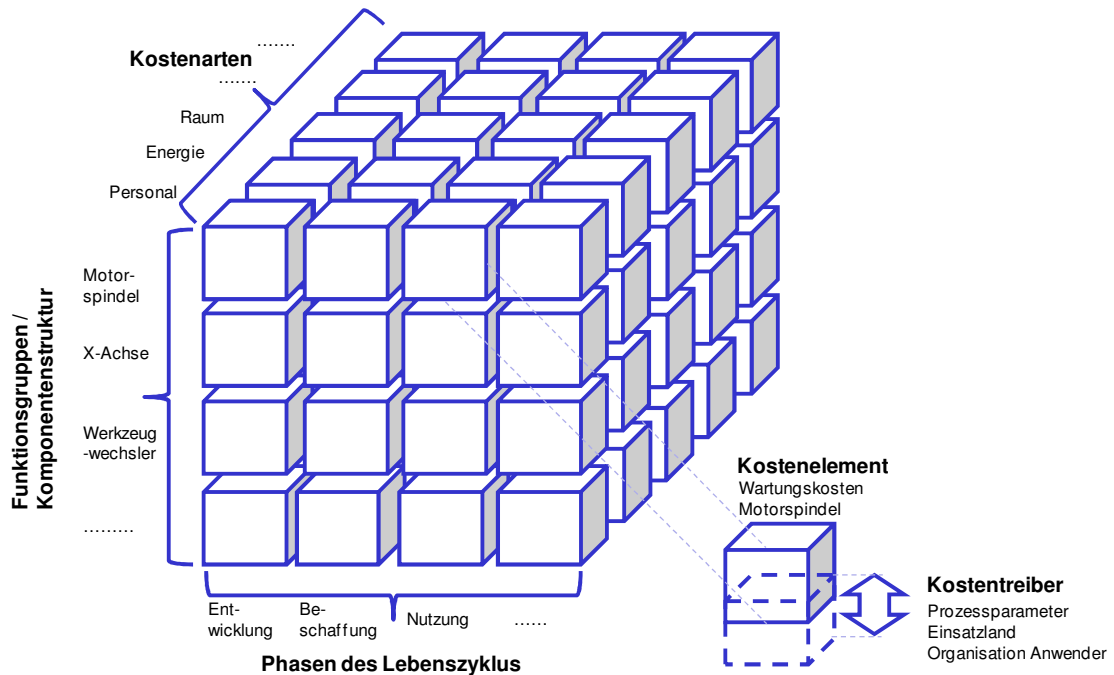


Abb. 4: Aufbau der Methodik CO\$TRA zur Lebenszyklusanalyse von Werkzeugmaschinen

Das Aufbrechen des Betriebsmittels in seine Produktstruktur ermöglicht es, die Lebenszykluskosten den einzelnen Funktionsgruppen bzw. Komponenten zuzuordnen. Hierdurch können die kostenverursachenden Komponenten identifiziert werden und Rückschlüsse für konstruktive Verbesserungsmaßnahmen gezogen werden. Für die in die Berechnung einfließenden Kostenarten (wie Energiekosten, Personalkosten, Kosten für Druckluft etc.) müssen durchschnittliche Kostensätze erhoben werden. Hier bietet es sich an, Kostenbeispiele von Maschinenanwendern aufzunehmen. Die Höhe der Lebenszykluskosten wird durch verschiedene Kostentreiber beeinflusst, so dass je nach Einsatzszenario identische Betriebsmittel starke Variationsbreiten der Lebenszykluskosten aufweisen können. Die Höhe der Energiekosten wird beispielsweise unter anderem durch den Bearbeitungsprozess und das Verhältnis von Stillstands- zu Produktionszeit beeinflusst. Um eine Aussage hinsichtlich des Einflusses der Energiekosten auf die Gesamtkosten treffen zu können, müssen verschiedene Szenarien entwickelt werden. Aus diesem Grund müssen für jedes Kostenelement die wesentlichen Kostentreiber identifiziert werden und bei der Modellierung der Lebenszykluskosten jeweils durch „Best-Case“ und „Worst-Case“ Szenarien in ihrer Auswirkung berücksichtigt werden.

3.2.1 Berücksichtigte Kostenelemente

Kostenseitig wird bislang bei den bestehenden Ansätzen vor allem den Kosten für die ungeplante Instandsetzung und somit der Bewertung von Verfügbarkeitskennwerten wie Mean Time Between Failure (MTBF), Mean Time to Repair (MTTR) und Mean Cost of Replacement Parts (MCRP) eine besondere Bedeutung beigemessen. Diese eng gefasste Betrachtungsweise wurde bei der Methodik von CO\$TRA zugunsten einer umfassenden Berücksichtigung sämtlicher durch den Erwerb und Besitz eines Betriebsmittels anfallender Kosten erweitert. Es werden auch Aufwände für Energie, für Hilfs- und Betriebsstoffe, für Werkzeuge bis hin zu den Kosten von Material berücksichtigt. Die Höhe der Lebenszykluskosten und die Bedeutung der verschiedenen Kostenelemente sind maschinenspezifisch und werden darüber hinaus durch die jeweiligen Einsatzbedingungen und den Umgang des einzelnen Anwenders mit dem Betriebsmittel beeinflusst. Dementsprechend muss bei jeder Lebenszyklusanalyse einzelfallbezogen definiert werden, welche Kostenelemente berücksichtigt werden sollen und welcher Detailgrad bei der Erfassung und Analyse erforderlich ist.

Die berücksichtigten Kostenelemente entsprechen weitgehend den Grundlagen der einschlägigen Normen. Berücksichtigt wurden insbesondere die folgenden Kostenelemente:

- Maschinenbeschaffung
- Wartung und geplante Instandsetzung
- Ungeplante Instandsetzung
- Energiekosten
 - Energiebedarf während der Teilefertigung
 - Leistungsaufnahme der WZM in der „nicht belegten“ Zeit, d.h. WZM im „Stand By“
- Druckluftkosten
 - Druckluftbedarf während der Teilefertigung
 - Druckluftaufnahme WZM in der „nicht belegten“ Zeit, d.h. WZM im „Stand By“
- Materialkosten
- Raumkosten
- Werkzeugkosten
- Kapitalbindungskosten
- Maschinenbediener
- Stillstandskosten Ausfall

3.2.2 Maschinenbeschaffung

In den Kosten der Maschinenbeschaffung werden neben dem reinen Anschaffungspreis der Maschine sämtliche Kosten berücksichtigt, die dem Maschinenanwender entstehen, bis das Betriebsmittel einsatzbereit ist.

Damit ergeben sich die Kosten der Maschinenbeschaffung zu:

$$\begin{aligned}
 \text{Maschinenbeschaffung} = & \text{Anschaffungspreis Maschine} \\
 & + \text{Kosten Installation} \\
 & + \text{Kosten Inbetriebnahme} \\
 & + \text{Werkzeugerstaussstattung} \\
 & + \text{Ersatzteilpaket} \\
 & + \text{Frachtkosten: Ziel/Strecke 1} \\
 & + \text{Zollkosten: Land 1} \\
 & + \text{Schulungskosten}
 \end{aligned}$$

3.2.3 Wartung und geplante Instandsetzung

Die Kosten für Wartung und geplante Instandsetzung werden zunächst in Kosten pro Jahr berechnet. Diese können später nach verschiedenen Verfahren aufsummiert werden, beispielsweise über einen längeren Betrachtungszeitraum (z.B. 10 Jahre) oder für eine Auswahl an Bauteilgruppen oder Funktionsgruppen. Für die Ermittlung der Kosten aus Wartung und Instandsetzung werden folgende Eingangsdaten benötigt:

- die Zyklendauer nach der ein Wartungs- oder Inspektionsvorgang erforderlich ist
- die tatsächliche Produktionszeit, die angibt, wie viele Betriebsstunden die Maschine läuft
- der Personalaufwand (in Mannstunden), der zur Durchführung des Wartungsvorganges erforderlich ist
- die Kosten für Ersatzteile und Verbrauchsmaterial
- die erforderliche Qualifikation des Instandhaltungsmitarbeiters (der Nutzer legt gemäß dem Wartungshandbuch fest, welches Qualifikationsniveau des Instandhaltungsmitarbeiters zur Erfüllung des Wartungsvorganges notwendig ist. Dem Qualifikationsniveau sind unterschiedliche Personalkostensätze zugewiesen.)
- die Einstufung des Wartungsvorganges als Bestandteil eines Wartungsvertrages

Die Kosten für Wartung und geplante Instandsetzung ergeben sich somit aus:

$$\begin{aligned}
 \text{Wartung und} \\
 \text{geplante Instandsetzung} = & \text{Kosten Ersatzteile und Verbrauchsmaterial} \\
 & + \text{Personalkosten für Wartung (Anwender)} \\
 & + \text{Kosten Wartungsvertrag (zwischen Anwender und} \\
 & \text{Hersteller)}
 \end{aligned}$$

3.2.4 Ungeplante Instandsetzung

Bei der ungeplanten Instandsetzung ist im Unterschied zu der Wartung & Inspektion oder zu der geplanten Instandsetzung vorher nicht bekannt, nach welchem Zeitraum ein bestimmtes Teil der Werkzeugmaschine unerwartet ausfällt. Daher greift man hier auf Erfahrungswerte zurück, um so mit diesen Mittelwerten die vorher nicht bekannten Ausfälle in die Kostenrechnung mit einzubeziehen.

Dazu werden die Mittlere Betriebsdauer zwischen 2 Ausfällen (entspricht MTBF), die durchschnittliche Dauer der ungeplanten Instandsetzung (Mannstunden = MTTR) und die durchschnittlichen Ersatzteilkosten (entspricht MCRP) als Kennzahlen herangezogen. Die größte Herausforderung liegt dabei in der Bestimmung der MTBF Werte.

Der Verlauf der Zuverlässigkeit im Sinne der DIN-Norm beziehungsweise der Überlebenswahrscheinlichkeit R (reliability) eines technischen Systems über die Zeit t wird durch die so genannte Zuverlässigkeitsfunktion $R(t)$ beschrieben. Über die Beobachtung des Ausfallsverhaltens identischer Funktionseinheiten (z.B. einer Werkzeugmaschinenkomponente), die zur gleichen Zeit und unter gleichen Bedingungen in Betrieb genommen wurden, ist eine empirische Herleitung der Funktion $R(t)$ möglich. Sie berechnet sich über die Division der zur Zeit t noch funktionsfähigen Einheiten $n(t)$ durch die Gesamtzahl der betrachteten Einheiten N .

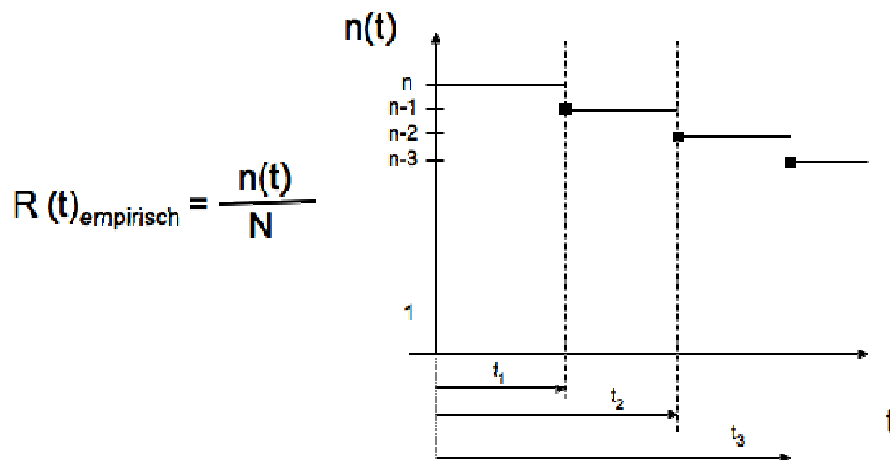


Abb. 5: Empirische Ermittlung der Zuverlässigkeitsfunktion $R(t)$

Wie Abbildung 5 zeigt, ist $n(t)$ eine stetig abnehmende Treppenfunktion. Die empirische Zuverlässigkeitsfunktion $R(t)_{\text{empirisch}}$ berechnet sich wie in der Abbildung dargestellt und konvergiert für $N \Rightarrow \infty$ gegen die tatsächliche Zuverlässigkeitsfunktion.

Die Zuverlässigkeitsfunktion wird durch die Ausfallrate bestimmt. Die Ausfallrate $\lambda(t)$ bezogen auf ein Zeitintervall Δt ist ebenfalls empirisch über das Verhältnis der Anzahl der im Zeitintervall $(t, t + \Delta t)$ ausgefallenen Einheiten zu der Anzahl der zum Zeitpunkt t noch nicht ausgefallenen Einheiten ermittelbar. Für $N \Rightarrow \infty$ und $\Delta t \Rightarrow 0$ konvergiert dieser Ausdruck gegen die tatsächliche Ausfallrate.

$$\lambda(t)_{\text{empirisch}} = \frac{n(t) - n(t + \Delta t)}{n(t) \Delta t} \quad \xrightarrow{\substack{N \Rightarrow \infty \\ \Delta t \Rightarrow 0}} \quad \lambda(t) = \frac{-dR(t) / dt}{R(t)}$$

Abb. 6: Bestimmung der Ausfallrate

Wie aus der Abbildung 6 ersichtlich wird, lässt sich damit die Zuverlässigkeitsfunktion durch Integration der Ausfallrate bestimmen. Für die Darstellung des Ausfallsverhaltens können unterschiedliche mathematische Modelle zu Grunde gelegt werden. Möchte man allerdings den MTBF-Wert der betrachteten Komponente berechnen, so impliziert dies, dass von einer über die Zeit konstanten Ausfallrate auszugehen ist. Nur in diesem Kontext ist die Ermittlung des MTBF-Wertes sinnvoll und möglich. Man gelangt dementsprechend zu folgender Zuverlässigkeitsfunktion:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

In diesem Fall ist die störungsfreie Zeit τ exponentiell verteilt. Damit berechnet sich ihr Erwartungswert über die Integration von $R(t)$ zu $1/\lambda$. Diese zu erwartende störungsfreie Zeit bis zum ersten Ausfall wird als MTTF (Mean Time To Failure) bezeichnet. Für wieder instandsetzbare Einheiten wird analog der Begriff MTBF verwendet. Die konstante Ausfallrate kann unter diesen Voraussetzungen über die kumulierte Laufzeit der betrachteten Einheit T und die innerhalb dieses Zeitraumes insgesamt aufgetretenen Ausfälle k der Betrachtungseinheit approximiert werden:

$$\hat{\lambda} = k / T$$

Damit ist bei Kenntnis der Ausfälle einer Komponente innerhalb eines gegebenen Zeitabschnittes eine näherungsweise Berechnung des MTBF-Wertes der betrachteten Komponente einer Maschine möglich.

Dieser MTBF-Wert ergibt sich als Kehrwert der konstanten Ausfallrate zu T/k . Man teilt zu seiner Bestimmung die Laufzeit einer Maschine durch die innerhalb dieser Laufzeit aufgetretenen Ausfälle.

Sind vollständige Daten bezüglich der Laufzeit und des Ausfallverhaltens der betrachteten Komponenten vorhanden, ist es möglich, über eine statistische Auswertung die Verfügbarkeit einer Komponente und letztlich der gesamten Werkzeugmaschine zu betrachten. Auf Basis dieser Vergangenheitswerte kann dann auf das zukünftige Ausfallverhalten der Maschine während ihres Einsatzes geschlossen werden.

Für die Ermittlung der Kosten aus ungeplanter Instandsetzung werden demnach folgende Eingangsdaten benötigt:

- die Mittlere Betriebsdauer zwischen 2 Ausfällen je Bauteilgruppe (MTBF)
- die tatsächliche Produktionszeit, die angibt, wie viele Betriebsstunde die Maschine läuft
- der Personalaufwand (in Mannstunden) zur Durchführung Instandsetzung (MTTR)

- die durchschnittlichen Ersatzteilkosten (MCRP)
- die erforderliche Qualifikation des Instandhaltungsmitarbeiters für die Durchführung des Instandsetzungsvorganges; dem Qualifikationsniveau sind unterschiedliche Personalkostensätze zugewiesen
- Angabe der Dauer der kostenfreien Gewährleistung
- Angabe der Dauer der Erweiterung der Gewährleistung
- Angabe der Kosten für eine erweiterte Gewährleistungsdauer

Die Kosten der ungeplanten Instandsetzung ergeben sich unter Berücksichtigung der kostenfreien und kostenpflichtigen Gewährleistungsdauer aus:

$$\text{Ungeplante Instandsetzung} = \begin{array}{l} \text{Kosten für Ersatzteile} \\ + \text{Personalkosten Instandsetzung (Anwender)} \\ + \text{Kosten Gewährleistung} \end{array}$$

3.2.5 Energiekosten

Um es zu ermöglichen, die Energiekosten während verschiedener Betriebszustände und zugleich für verschiedene Teilbereiche der Produktionsanlage (Werkzeugmaschine & Peripherie) anzuzeigen, werden die Energiekosten mittels einer Matrix abgebildet.

Dabei beschreiben die einzelnen Zeilen die verschiedenen Betriebszustände wie „in der Bearbeitung“, „Betriebsbereit“ und „Stand-By“. Die Spalten beschreiben die verschiedenen Teile der Produktionsanlage (Werkzeugmaschine i.e.S. und Peripherie). Die Berechnung erfolgt für verschiedene Demonstratorwerkstücke. Durch diese Aufteilung kann beispielsweise gezeigt werden, welche Energiekosten bei der reinen Teilefertigung anfallen und welche während der organisatorischen Ausfallzeit entstehen, wenn der Maschinenanwender das Betriebsmittel nicht ausschaltet, sondern im Modus „Betriebsbereit“ oder im „Stand-By“ Betrieb lässt.

Der zugrunde liegende Energiekostensatz kann entsprechend dem vorliegenden Kundenszenario verändert werden, zusätzlich hierzu kann mit einer jährlichen prozentualen Zunahme der Energiekosten gerechnet werden.

3.2.6 Druckluftkosten

Auch die Druckluftkosten werden während verschiedener Betriebszustände und zugleich für verschiedene Teilbereiche der Produktionsanlage (Werkzeugmaschine & Peripherie) berechnet. Wiederum beschreiben die einzelnen Zeilen der Matrix die verschiedenen Betriebszustände wie „in der Bearbeitung“, „Betriebsbereit“ und „Stand-By“. Die Spalten beschreiben die verschiedenen Teile der Produktionsanlage (Werkzeugmaschine i.e.S. und Peripherie). Die Berechnung erfolgt ebenso wie bei den Energiekosten für verschiedene Demonstratorwerkstücke. Durch diese Aufteilung kann beispielsweise gezeigt werden, welche Druckluftkosten bei der reinen Teilefertigung anfallen und welche während der organisatorischen Ausfallzeit entstehen, wenn der Maschinenanwender das Betriebsmittel nicht ausschaltet sondern im Modus „Betriebsbereit“ oder im „Stand-By“ Betrieb lässt.

3.2.7 Materialkosten

In den bisherigen Berechnungen wurden die Kosten für die Produktion berechnet, ohne dabei zu berücksichtigen, ob es sich um Gutteile oder um Ausschuss handelt.

Die Menge an fehlerhaft produzierten Teilen berechnet sich über die geplante Produktionsmenge und den Qualitätsgrad, wobei der Qualitätsgrad den Anteil an Gutteilen an allen produzierten Teilen darstellt.

Die Materialkosten können sowohl inklusive als auch exklusive Ausschuss berechnet werden. Wobei bei der Berechnung des Ausschusses vereinfachend angenommen wird, dass fehlerhafte Teil kann nicht nachbearbeitet werden oder dies ist unwirtschaftlich. Die Materialkosten ermitteln sich über die Kosten des Rohteils multipliziert mit der Produktionsmenge.

3.2.8 Raumkosten

Die Raumkosten ergeben sich aus der benötigten Fläche für die Werkzeugmaschine inkl. Peripheriegeräte und dem Flächenkostensatz pro m², der vergleichbar zum Energiekostensatz dem tatsächlichen Kundenszenario angepasst werden kann.

3.2.9 Werkzeugkosten

Der Softwarenutzer hat die Möglichkeit, eine nahezu unbegrenzte Anzahl an Werkzeugen inklusive der damit verbundenen Anschaffungskosten im Softwaretool zu hinterlegen. Die Berechnung der Werkzeugkosten erfolgt dann jeweils für den spezifischen Anwendungsfall des Kunden. Hierfür können jeweils maximal 10 der hinterlegten Werkzeuge miteinander kombiniert werden. Für die Berechnung muss zusätzlich die Standzeit der Werkzeuge (entspricht der Anzahl der Werkstücke, die mit dem jeweils gleichen Werkzeug bearbeitet werden können) sowie die Aufbereitungskosten (entsprechen den Kosten, die aufgewandt werden müssen, um die angegebene Standzeit der Werkzeuge zu erreichen) angegeben werden.

Die resultierenden Werkzeugkosten berechnen sich dann aus der Anzahl der Werkzeuge, die pro Jahr benötigt werden, den Anschaffungspreisen und den durchschnittlichen Aufbereitungskosten.

3.2.10 Kapitalbindungskosten

Eine in der Betriebswirtschaftslehre umstrittene Frage ist, ob und wenn ja in welchem Umfang Zinsen als Kosten zu berücksichtigen sind. Je nach Auffassung kommt eine Berücksichtigung von Fremd- und/oder Eigenkapitalzinsen in Betracht. Da in der entwickelten Berechnungsmethodik neben den Lebenszykluskosten auch Stückkosten berechnet werden sollen, werden in der Methodik von CO\$TRA Kapitalbindungskosten berücksichtigt.

3.2.11 Maschinenbediener

In der im Projekt entwickelten Berechnungsmethodik werden auch die Kosten für den Maschinenbediener berücksichtigt. Dies geschieht unter anderem, um dem Maschinenhersteller die Möglichkeit zu bieten, die Vorteilhaftigkeit einer höheren Automatisierungsstufe der Maschine, welche zumeist mit einem höheren Erstinvest einhergeht, im Vergleich zu höheren laufenden Kosten (durch den Maschinenbediener) darzustellen. Bei der Berechnung der Kosten durch den Maschinenbediener stehen



Institut für Produktionsmanagement,
Technologie und Werkzeugmaschinen



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

vier alternative Szenarien hinsichtlich des Mensch-/Maschine Bedienverhältnisses zur Verfügung. Die Personalkosten sind variabel.

3.2.12 Stillstandskosten Ausfall

Im Gegensatz zum VDMA Einheitsblatt können optional Stillstandskosten durch Maschinenausfall berücksichtigt werden. In die Berechnung fließt die Reaktionszeit des Servicepersonals des Maschinenherstellers ein. Dies bietet dem Maschinenhersteller die Möglichkeit darzustellen, welcher hohe Kosteneffekt ein schneller Serviceeinsatz im Vergleich zu einem verspäteten Serviceeinsatz hat.

3.3 Modulare Funktions- und Komponentenstruktur der WZM

In der Datenstruktur der CO\$TRA Software werden die Maschinen in vier Ebenen untergliedert: Maschinentypen, Varianten der Maschinentypen, Funktionsgruppen und Bauteilgruppen. Diese modulare Struktur bildet die Grundlage für die lebenszyklusbezogenen Analysen der Werkzeugmaschine. Das Strukturmodell ist derart aufgebaut, dass alternative konstruktive Lösungen abgebildet und verglichen werden können. Gleichzeitig können unterschiedliche Varianten eines Maschinentyps dargestellt werden. Varianten können dabei zum einen durch Substitution einer Komponente durch eine andere (beispielsweise kann die Hauptspindel in verschiedenen Leistungsklassen eingebaut sein), zum anderen durch optionale beziehungsweise ergänzende Maschinenausstattung (etwa Zentralschmierung) begründet sein.

Die Untergliederung in Maschinentypen und Varianten ermöglicht es dem Maschinenhersteller Varianten, die über verschiedene Ausstattungsmerkmale/Optionen verfügen, hinsichtlich ihrer Lebenszykluskosten beziehungsweise Lebenszyklusleistung direkt zu vergleichen. Mögliche Unterscheidungsmerkmale sind hier erzielbare Prozesszeiten aufgrund von Maschinenleistung oder Maschinenkonzept (beispielsweise Einspindler vs. Mehrspindler), Erstinvest (beispielsweise für eine optionale Ausstattung mit einer Zentralschmierung im Vergleich zu anfallenden Wartungskosten ohne Zentralschmierung) oder Automatisierungsgrade im Vergleich zum Mensch-Maschine-Bedienverhältnis.

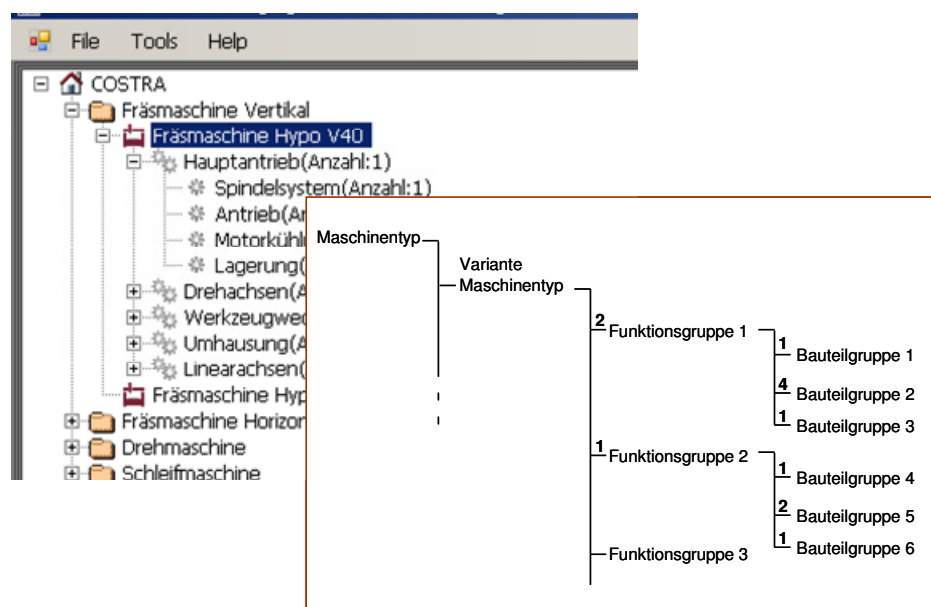


Abb. 7: Struktur des Maschinenstammbaums

Diese Untergliederung in Maschinentypen und Varianten ermöglicht es dem Maschinenhersteller zum einen, das komplette Maschinenprogramm abzubilden. Zum

ändern können hierdurch Varianten, die über verschiedene Ausstattungsmerkmale/Optionen verfügen, direkt hinsichtlich ihrer Lebenszykluskosten verglichen werden.

3.4 Funktionsgruppen und Bauteilgruppen

Die gebildeten Maschinenvarianten müssen in ihre Funktions- und Bauteilgruppen untergliedert werden. Dies ermöglicht die Zuordnung des Aufwandes für die Wartung und die ungeplante Instandsetzung. Die gewählten Funktions- und Bauteilgruppen müssen eindeutig und überschneidungsfrei sein, d.h. es sollten beispielsweise keine „Sammelgruppen“ gebildet werden wie „Elektrik“ oder „Pneumatik“.

Bei der Erstellung der Funktions- und Bauteilgruppen sollten folgende Vorgaben berücksichtigt werden:

- Alle Wartungsvorgänge aus dem Wartungshandbuch müssen eindeutig einer Bauteilgruppe zugewiesen werden können
- Alle Bauteil- und Funktionsgruppen, die in den Serviceberichten unterschieden werden, müssen berücksichtigt werden
- Optional müssen externe Vorgaben (z.B. die Funktions- und Bauteilgruppen die Daimler Chrysler unterscheidet) berücksichtigt werden

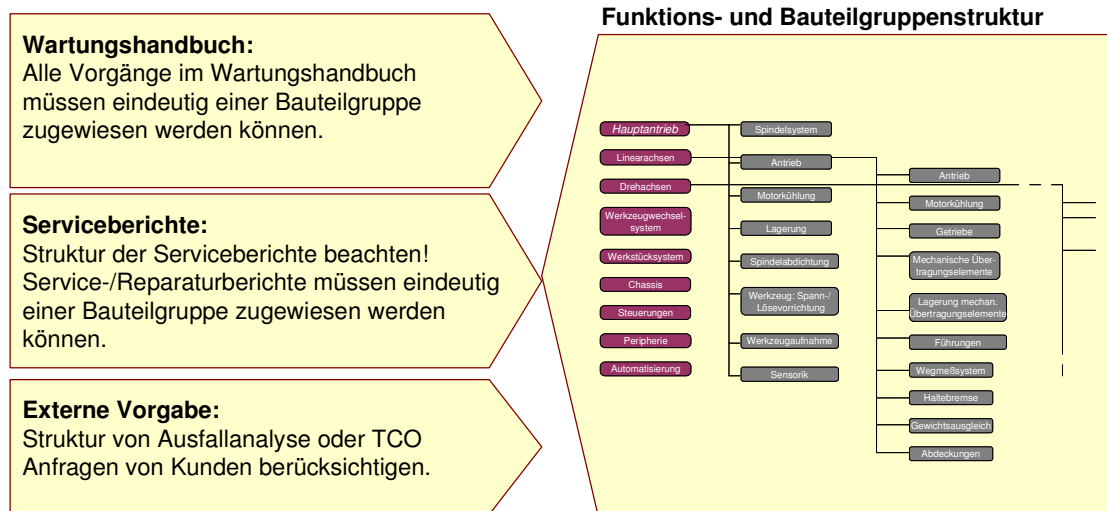


Abb.8: Vorgehensweise zur Erstellung der Funktions- und Bauteilgruppenstruktur

Anhand der Funktionsgruppen werden des Weiteren die Ausstattungsvarianten wie beispielsweise Zentralschmierung, Rotationsachsen, Automatisierung unterschieden. Eine diesen Anforderungen genügende Strukturform ist die sogenannte Baumstruktur. Das Maschinenstrukturmodell wird dabei so aufgebaut, dass die hierarchische Struktur der Werkzeugmaschinenkonstruktion beginnend beim Gesamtsystem über Hauptbaugruppen, untergeordnete Bauteilgruppen bis hin zu dem einzelnen Bauteil abgebildet werden kann. Die Anzahl der benötigten Unterebenen ergibt sich aus dem verfügbaren sowie aus dem notwendigen Detaillierungsgrad der maschinenseitigen Daten. Hier muss der üblichen Zusammenfassung von Bauteilgruppen zu Funktionsgruppen bei konstruktiven Änderungen Rechnung getragen werden, beispielsweise entsprechend dem verfügbaren und sinnvollen Detaillierungsgrad von

Maschinenausfällen, der Zuordnung von Druckluftverbrauch oder von Wartungsvorgängen. Auf diese Weise ist es dann möglich, eine Auswertung je nach Datenlage detaillierter oder weniger detailliert zu gestalten.

Der Aufbau einer solchen Datenstruktur ist exemplarisch in Abbildung 9 dargestellt, eine Unterscheidung in die Werkzeugmaschine i.e.S. und Peripherie hat sich dabei zumeist als sinnvoll erwiesen. Für die einzelnen Betrachtungseinheiten des Strukturmodells müssen sodann alle benötigten maschinenseitigen Informationen beziehungsweise Datensätze und Werte erhoben werden.

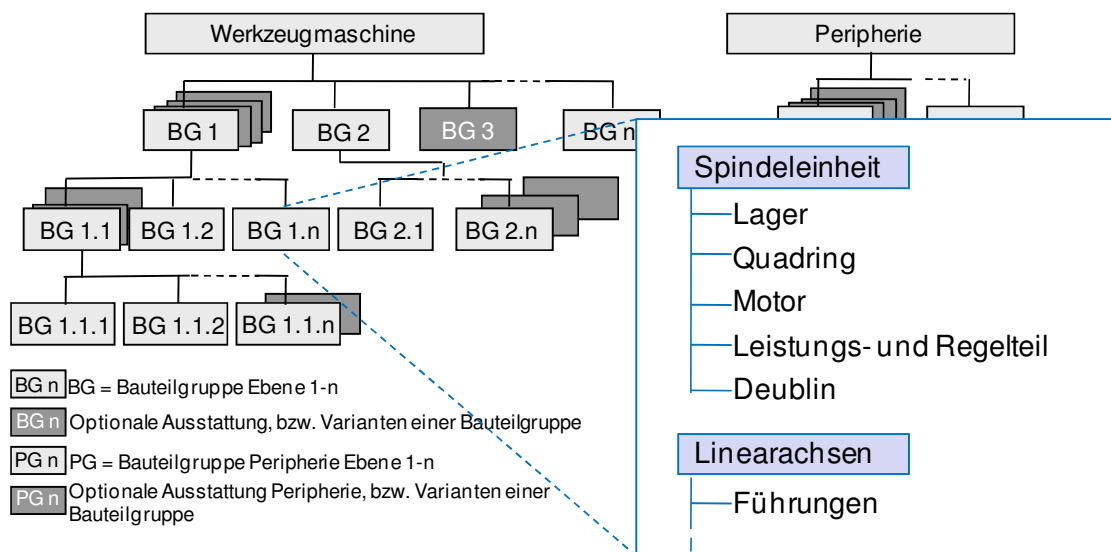


Abb.9: Auszug der entwickelten Funktions- und Bauteilgruppenstruktur

3.5 Generierung der Datengrundlage für Instandsetzungskennwerte

Verfügbarkeitsanalysen basieren im Allgemeinen auf den Methoden der Statistik. Über die Auswertung von Vergangenheitsdaten soll auf das zukünftige Ausfallverhalten einer Maschine geschlossen werden. Wie bei allen statistischen Verfahren spielt der Umfang und die Repräsentativität der verwendeten Daten eine enorme Rolle. An dieser Stelle ergibt sich für den Maschinenhersteller, der die Verfügbarkeit der von ihm hergestellten Werkzeugmaschinen beurteilen möchte, ein grundlegendes Problem. Im Gegensatz zum Maschinennutzer hat der Hersteller nur einen sehr eingeschränkten Zugang zu Informationen hinsichtlich der Störungshistorie seiner Maschinen. Lediglich von ihm übernommene Serviceleistungen sowie die bei ihm eingehenden Ersatzteilbestellungen können als Anhaltspunkte für den Störungsverlauf der verkauften Maschinen dienen. Diese Daten stellen jedoch nur einen kleinen Ausschnitt der tatsächlich aufgetretenen Fehler dar. Alle Störungen der Maschine, die ein Maschinenanwender selbst behebt, bleiben dabei unberücksichtigt. Diese schwierige Datensituation hat in der Vergangenheit dazu geführt, dass neben groben Abschätzungen vor allem subjektive Expertenaussagen zur Bestimmung des für das Ausfallverhalten charakteristischen MTBF-Wertes (Mean Time Between Failure) herangezogen wurden. Die Informationen aus den gegebenen Grundlagen wurden aufgrund ihrer Unvollständigkeit weitestgehend vernachlässigt. Im Verlauf des Projektes wurden erste Ansätze entwickelt, die Generierung der Daten zur Bestimmung der Verfügbarkeitswerte zu systematisieren.

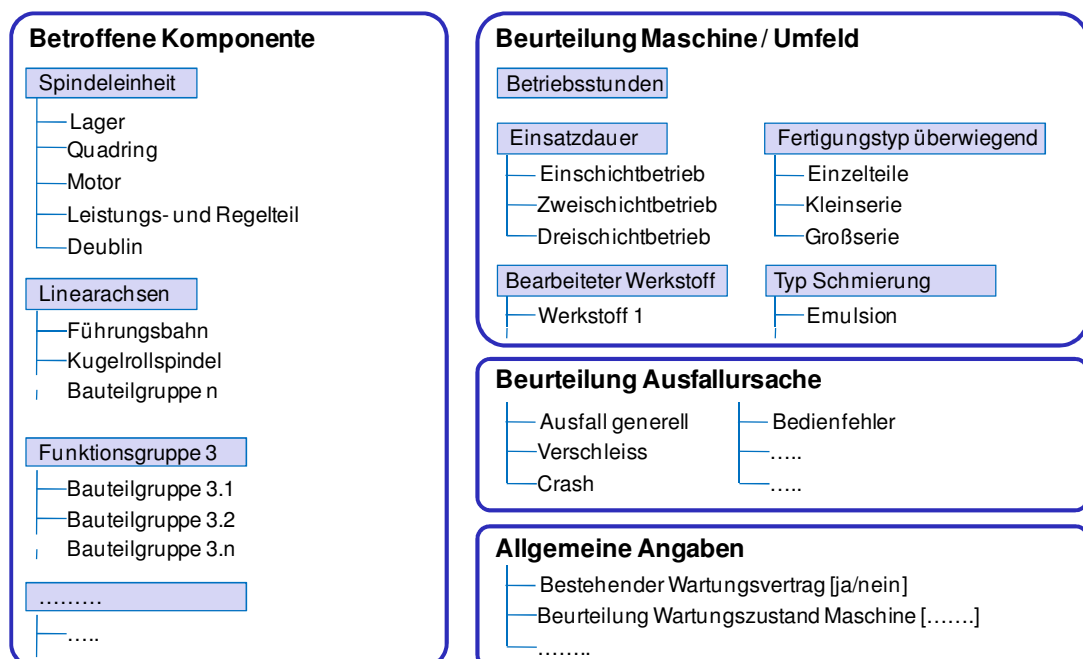


Abb. 10: Erforderliche Informationsstruktur von Serviceberichten

Wesentliche Voraussetzung für die Generierung einer aussagekräftigen Datenbasis ist ein geeigneter Ursachencode für die Codierung der Serviceeinsätze die der Maschinenhersteller bei seinen Kunden durchführt. Hierzu zählt unter anderem eine geeignete Zuweisung der Ausfälle zu den Bauteilgruppen durch das Servicepersonal

des Maschinenherstellers sowie eine geeignete Beschreibung der Einsatzbedingungen beim Anwender (vgl. Abbildung 10).

Die Vollständigkeit der Datengrundlage hinsichtlich des Ausfallsverhaltens einer Maschine und ihrer Komponenten ist das wesentliche Kriterium für die Qualität der Auswertung dieser Daten. Seitens der Maschinennutzer liegt in der Regel eine sehr ausführliche Erfassung aller zur Berechnung der MTBF-Werte notwendigen Daten vor. Diese ergeben sich vor allem aus der detaillierten Dokumentation der Instandhaltungsvorgänge der betriebenen Maschinen.

Der Maschinenhersteller hat jedoch in der Regel keinen Zugang zu diesen umfassenden Informationen des Maschinenanwenders. Zudem ist seine eigene Datengrundlage auf einige wenige Datenquellen beschränkt, außerdem sind diese Quellen meistens sowohl in qualitativer als auch in quantitativer Hinsicht nicht ohne weiteres für eine analytische Betrachtung des Ausfallsverhaltens einer Maschine verwendbar.

Die für den Hersteller zugänglichen Daten ergeben sich vor allem aus den von ihm durchgeführten Serviceeinsätzen und bei ihm eingehende Ersatzteilbestellungen. Übernimmt der Maschinenhersteller die Behebung eines Störfalles direkt, ist der Ausfall für ihn in diesem Zusammenhang erfassbar. In der Garantielaufzeit werden in der Regel 100 % aller Beanstandungen beim Hersteller gemeldet und von diesem behoben. Für diesen Zeitraum, üblicherweise die ersten zwei Jahre nach Inbetriebnahme einer Maschine, ist also eine durchgängige Datenbasis vorhanden. Anders sieht die Datenlage nach Ende der Garantiezeit aus: Nun liegt es im Ermessen des Maschinennutzers, wie er die Wartung und Instandhaltung einer Maschine handhaben will. In einigen Fällen bestehen zwischen Hersteller und Nutzer einer Maschine über die Garantiezeit hinaus Wartungsverträge. In diesem Fall erfährt der Hersteller ebenfalls von allen aufgetretenen Störungen und Ausfällen, nun sogar über die gesamte Laufzeit einer Maschine hinweg. Allerdings ist die Anzahl solcher vom Hersteller instand gehaltenen Maschinen im Verhältnis zu den insgesamt verkauften Maschinen in der Regel recht niedrig. Die Möglichkeit, statistisch von diesen Maschinen auf die Gesamtheit der betrachteten Maschinen zu schließen, ist in der Regel nicht gegeben.

Eine weitere Quelle von MTBF-Informationen stellen die so genannten Expertenschätzungen dar. Einfache Expertenschätzungen sind dabei nicht an eine bestimmte Art der Durchführung gebunden, während für ausführliche Umsetzungen methodische Grundlagen gegeben sind. Bisher führen die Werkzeugmaschinenhersteller allerdings keine systematischen Expertenschätzungen durch. Teilweise stehen dem Maschinenhersteller auch Auswertungen einzelner Kunden zur Ausfallhistorie einer Maschine zur Verfügung.

Letztlich sind jedoch alle diese Daten mit einer hohen Unsicherheit behaftet. Aus diesem Grund sollten die einzelnen Ergebnisse miteinander verglichen werden und dann ein gemittelter Wert gebildet werden. Abbildung 11 zeigt diese empfohlene Vorgehensweise bei der Ermittlung der Datenbasis für Instandsetzungsdaten.

Bei der Generierung der Datenbasis für MTBF, MTTR und MCRP sollten verschiedene Quellen miteinander kombiniert werden

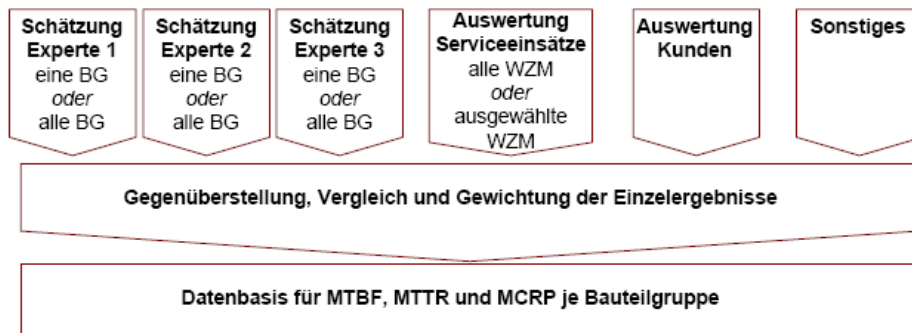


Abb11: Vorgehensweise bei der Generierung der Datenbasis für MTBF, MTTR und MCRP

3.6 Beispiel einer LZK Analyse einer Werkzeugmaschine

3.6.1 Bedeutung der LZK im Vergleich zum Erstinvest

Der Anschaffungspreis einer Werkzeugmaschine stellt mit durchschnittlich 30 Prozent nur einen geringen Teil der Gesamtkosten dar, die dem Anwender aus dem Betrieb einer Maschine über deren Lebenszyklus hinweg erwachsen. Berechnet am Beispiel eines einfachen Bearbeitungszentrums wird die Bedeutung der Lebenszykluskosten deutlich:

Beispiel:

Die Berechnung der Lebenszykluskosten erfolgt für ein vertikales, dreiachsiges Bearbeitungszentrum (BAZ). Das einspindelige BAZ ist mit einer Motorspindel ausgestattet. Der Erstinvest beträgt inklusive der üblichen Kosten für Installation und Inbetriebnahme, einer Werkzeug- sowie Ersatzteilerstausstattung sowie einer zweitägigen Schulung der Maschinenbediener rund 198.000 Euro. Die Bearbeitung erfolgt im 2-Schichtbetrieb an 224 Tagen im Jahr, woraus rund 3.584 Stunden pro Jahr resultieren. Bearbeitet wird ein einfaches Frästeil mit einer Bearbeitungsdauer von 145 Sekunden, die jährliche Produktionsmenge beträgt 85.000 Stück. Bei einem angenommenen Qualitätsgrad von 99,99% entspricht dies einer Maschinenlaufzeit von rund 2.928 Stunden, in der verbleibenden Zeit (656 Stunden) wird die Maschine im Stand-by -Betrieb belassen. Die durchschnittliche Leistungsaufnahme für Werkzeugmaschine und Peripheriegeräte (KSS-Anlage und Absaugung) beträgt in der Bearbeitungszeit 22kW und die Grundleistung, die die Maschine im Stand-by aufnimmt, 11kW. Die Dauer der kostenfreien Gewährleistung beträgt 12 Monate. Die Reaktionszeit des Servicepersonals des Maschinenherstellers liegt bei durchschnittlich 12 Stunden. Im Falle eines unvorhergesehenen Maschinenausfalls entstehen beim Maschinenanwender Stillstandskosten in Höhe von 75 Euro/Stunde (~Stundensatz Maschinenbediener).

Bei einem Betrachtungszeitraum von 10 Jahren belaufen sich die Lebenszykluskosten in Summe auf rund 582.000 Euro mit der in Abbildung 12 dargestellten Verteilung der berücksichtigten Kostenelemente.

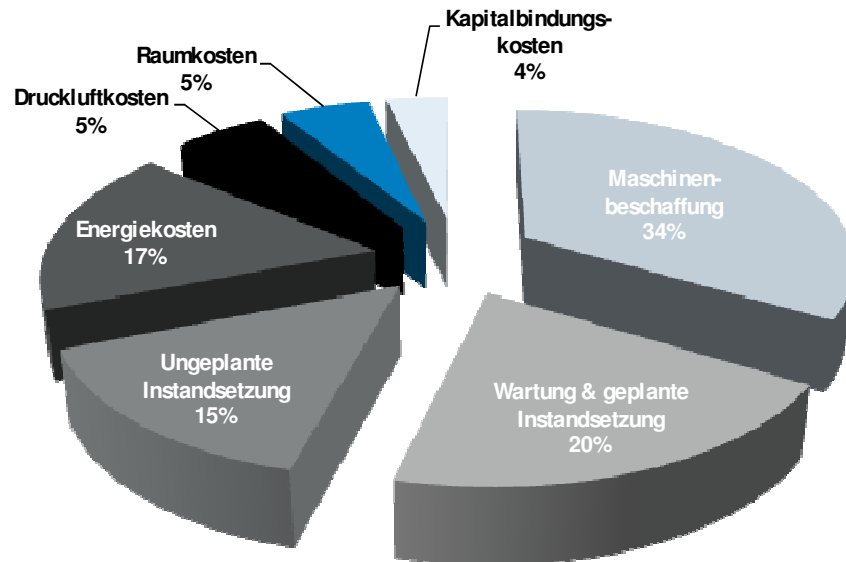


Abb. 12: Analysebeispiel Lebenszykluskosten einer Werkzeugmaschine(10 Jahre)

Bei Berücksichtigung der Stillstandskosten müsste nochmals ein Betrag in Höhe der Kosten aus ungeplanter Instandsetzung hinzuaddiert werden. Weitere Kostenelemente, die prinzipiell berücksichtigt werden können, sind etwa Kosten für Ausschuss, Werkzeugkosten sowie Rüstkosten. Selbst bei einer Betrachtung nur ausgewählter Kostenelemente wie in obigem Beispiel machen die Kosten der Maschinenbeschaffung nur noch etwa 30% der Gesamtkosten aus. Die hohe Bedeutung einer systematischen Beachtung der Lebenszykluskosten sowohl durch den Maschinenanwender als auch durch den Maschinen- und Komponentenhersteller ist damit augenscheinlich.

3.6.2 Analysebeispiel zum Wartungsaufwand

Die Datenbasis für Analysen der LZK aus Wartung und geplanter Instandsetzung wurde aus den Wartungshandbüchern einer Beispielmachine entnommen. Die einzelnen Wartungsvorgänge wurden den im Maschinenstrukturmodell definierten Bauteil- und Funktionsgruppen zugewiesen, hierbei kann ergänzend bei der Bewertung des Wartungs-aufwandes unterschieden werden, ob hierfür ein Maschinenstillstand notwendig ist oder nicht. Weiterhin wurde eine Unterscheidung hinsichtlich des erforderlichen Qualifikationsniveau des Wartungspersonals getroffen (d.h. zum Beispiel, ob der Vorgang durch einen angeleiteten Mitarbeiter oder durch einen Facharbeiter durchgeführt werden muss), um die resultierenden Kosten verursachungsgerecht ermitteln zu können.

Eine detaillierte Analyse der aus den Wartungsempfehlungen resultierenden Kosten ist in Abbildung 13 dargestellt.

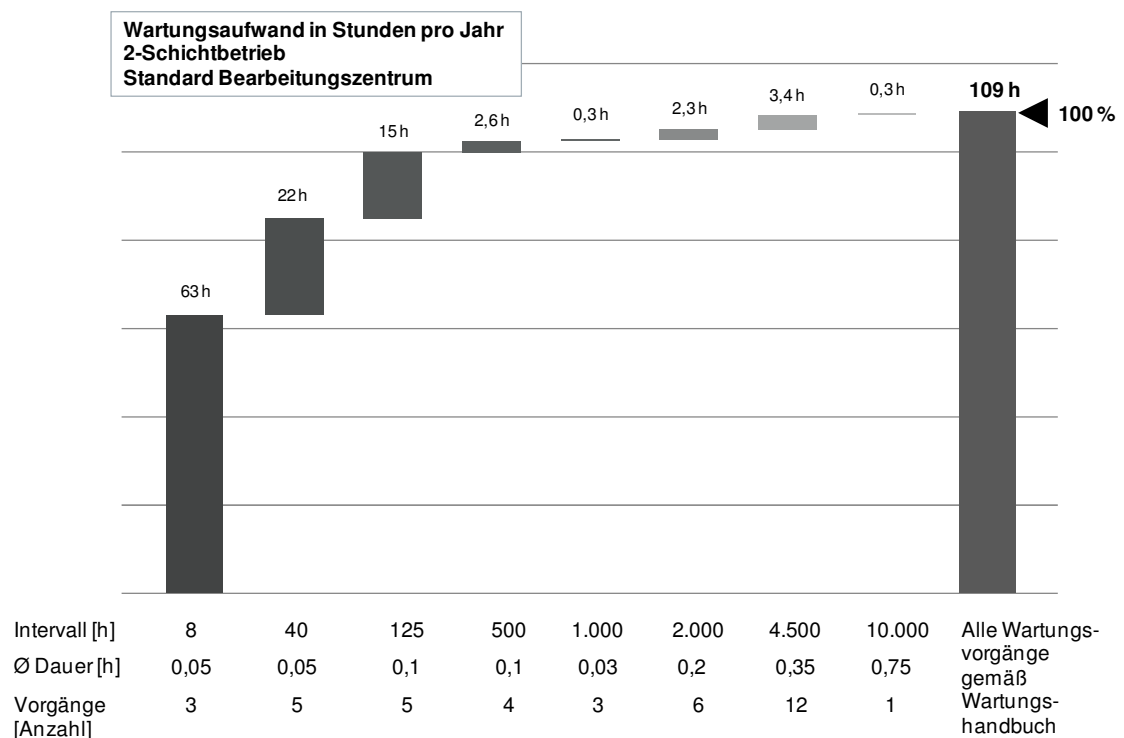


Abb. 13: Auswertungsbeispiel zu den Kostentreibern der Wartung an einem BAZ

Für eine Analyse der Kostentreiber der Wartung wurden in Abbildung 13 die Wartungsvorgänge laut Wartungshandbuch für ein einfaches Bearbeitungszentrum nach Wartungsintervall (d.h. der Angabe nach welchem Betriebsstundenzeitraum der Vorgang wiederholt werden muss), nach dem zeitlichen Aufwand der für den Vorgang notwendig ist (Dauer in Stunden) und der Anzahl der Wartungsvorgänge, die in diesem Intervall erfolgen müssen, aufgegliedert. Die Analyse zeigt, dass nur 13 Wartungstätigkeiten 58 % der Kosten verursachen - nämlich genau die Tätigkeiten, die in kurzen Intervallen durchgeführt werden müssen, und dies, obwohl die Tätigkeiten selbst jeweils nur rund 3 Minuten Zeit beanspruchen. Um den Wartungsaufwand zu

reduzieren, müssen daher zunächst kurze Wartungsintervalle durch geeignete konstruktive Maßnahmen vermieden werden.

Die Höhe der Lebenszykluskosten, die durch den Wartungsbedarf einer Maschine entstehen, wird, unabhängig von der Verteilung auf einzelne Kostentreiber, zumeist unterschätzt. Eine Analyse der Wartungsanweisungen von fünf unterschiedlichen Maschinenherstellern zeigte, dass die Herstellerempfehlungen zur Wartung (bezogen auf Werkzeugmaschine und Peripheriegeräte) aufsummiert leicht einem jährlichen Zeitaufwand von über 100 Stunden erreichen können, was dann oftmals Wartungskosten von rund 12.000 Euro pro Jahr entspricht. Um Wartungskosten gezielt zu senken, müssen zunächst Prioritätslisten erstellt und vermeidbare Vorgänge bewusst ausgespart werden. Durch eine Verlängerung der Wartungszyklen können die größten Einsparungseffekte realisiert werden, gegebenenfalls sollte der Maschinenhersteller die Wartungszyklen im Wartungshandbuch bereits an die prozessbedingte Beanspruchungshöhe anpassen. Ergänzend sollten konstruktive Maßnahmen zur Reduktion des Wartungsaufwandes hinsichtlich ihrer Lebenszykluskosten verglichen werden.

Die Lebenszykluskostenanalyse zeigt beispielsweise recht anschaulich die Rentabilität der optionalen Ausstattung einer Maschine mit einer Zentralschmierung im Vergleich zum Wartungsaufwand ohne Zentralschmierung und lässt sich in dieser Form gut argumentativ im Vertriebsgespräch einsetzen.

Beispiel:

Betrachtet wird ein fünfschichtiges Bearbeitungszentrum mit einem Maschinenpreis von rund 184.000 Euro. Die optionale Ausstattung mit einer Zentralschmierung kostet den Käufer 4.200 Euro. Bei Maschinen, die über keine Zentralschmierung verfügen, müssen die Führungen manuell gefettet werden. Ist eine Zentralschmierung eingebaut, entfällt dieser Vorgang, es entstehen jedoch andere Wartungsarbeiten: Der Füllstand des Ölbehälters muss geprüft und bei Bedarf nachgefüllt werden, die Ölfilterpatrone muss ausgetauscht werden und der Druck am Manometer geprüft werden. Bei einem Betrachtungszeitraum von 8 Jahren können durch die Zentralschmierung, trotz der Wartungsarbeiten an der Einrichtung selbst, bei Annahme eines deutschen Lohnniveaus Wartungskosten i.H.v. 17.729 Euro eingespart werden. Die Anschaffung einer Zentralschmierung hätte sich damit bereits nach 2 Jahren amortisiert.

3.6.3 Analysebeispiel zum Energieaufwand

Der Energieverbrauch ebenso wie der Druckluftverbrauch von Werkzeugmaschinen gewinnt nicht nur im Zusammenhang mit Lebenszykluskosten, sondern auch angesichts der steigenden Energiekosten an Bedeutung. Bereits bei einem Bearbeitungszentrum mittlerer Leistung können je nach Einsatzbedingung die Energiekosten (bewertet mit den durchschnittlichen Energiepreisen von 2007) pro Jahr mit bis zu 9.000 € zu Buche schlagen und damit bis zu 20% der jährlichen Gesamtbetriebskosten einer Fertigung ausmachen.

Da der Energieverbrauch (ebenso wie der Druckluftverbrauch) der jeweiligen Werkzeugmaschine vom Fertigungsszenario abhängt (beispielsweise der Anzahl an Werkzeugwechseln), sollten die Datensätze jeweils für Referenzprozesse beziehungsweise -bauteile erhoben werden. Günstigstenfalls erfolgt die Messung unter Produktionsbedingungen. Um das Verbrauchsverhalten von Werkzeugmaschinen transparent zu machen, sollte dabei die Messung sowohl „in Produktion“ als auch in den verschiedenen Betriebsmodi der nicht produzierenden Maschine, d.h. während der Stillstandszeiten, wie beispielsweise im Stand-by-Betrieb erfolgen, denn auch hier wird Energie (z.B. Regelung der Antriebe) oder Druckluft (z.B. Sperrluft an der Spindel) verbraucht

Günstigstenfalls erfolgt die Messung unter Produktionsbedingungen und getrennt für die einzelnen Maschinenkomponenten, zumindest sollte jedoch die Leistungsaufnahme der Werkzeugmaschine getrennt von der Peripherie erfasst werden, um tatsächliche Verursacher zu identifizieren. Analysen zeigen beispielsweise, dass oftmals rund die Hälfte der Leistungsaufnahme des Gesamtsystems bereits nur durch die Kühlschmierstoffanlage verursacht wird.

4 Struktur & Funktionsumfang des Softwaremodells

Die Software gliedert sich in zwei Hauptebenen.

Auf der ersten Ebene (LZK Datenbank) werden Maschinenstammbäume erstellt und lebenszyklusbezogene Werte gespeichert.

Auf der zweiten Ebene erfolgt die LZK Berechnung unter Annahme verschiedener Einsatz- und Rahmenbedingungen.

Die zweite Ebene zieht die erforderlichen LZK Daten aus dem Datenspeicher der ersten Ebene. Die Datensätze sind in Access gespeichert.

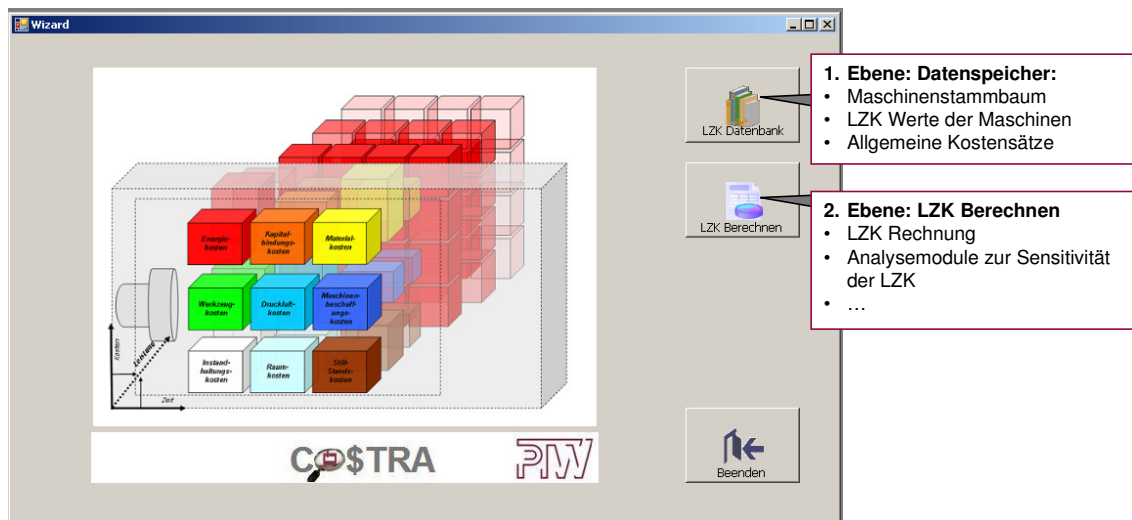


Abb. 14: Allgemeiner Aufbau der Software

4.1 Erste Hauptebene: LZK Datenbank

In der LZK Datenbank können Maschinenstammbäume erstellt und zugehörige Werte für die Berechnung der LZK hinterlegt werden. Die LZK Datenbank besteht aus drei Unterebenen:

- Maschine anlegen: Erstellen von Maschinentyp und -variante, Stammbaum, Funktionsgruppen und Bauteilgruppen sowie Demonstratorwerkstücken, Zuordnen von Bildern und Datenblättern
- Werte zuordnen: Den zuvor angelegten Maschinentypen und Varianten können Kostenwerte zugeordnet werden, die in der zweiten Hauptebene für die LZK Berechnung verwendet werden
- Kostensätze: Speichern maschinenunabhängiger Kostensätze (z. B. für Energie, Druckluft, Material, Werkzeuge), die ebenfalls bei der LZK Berechnung aufgerufen werden können

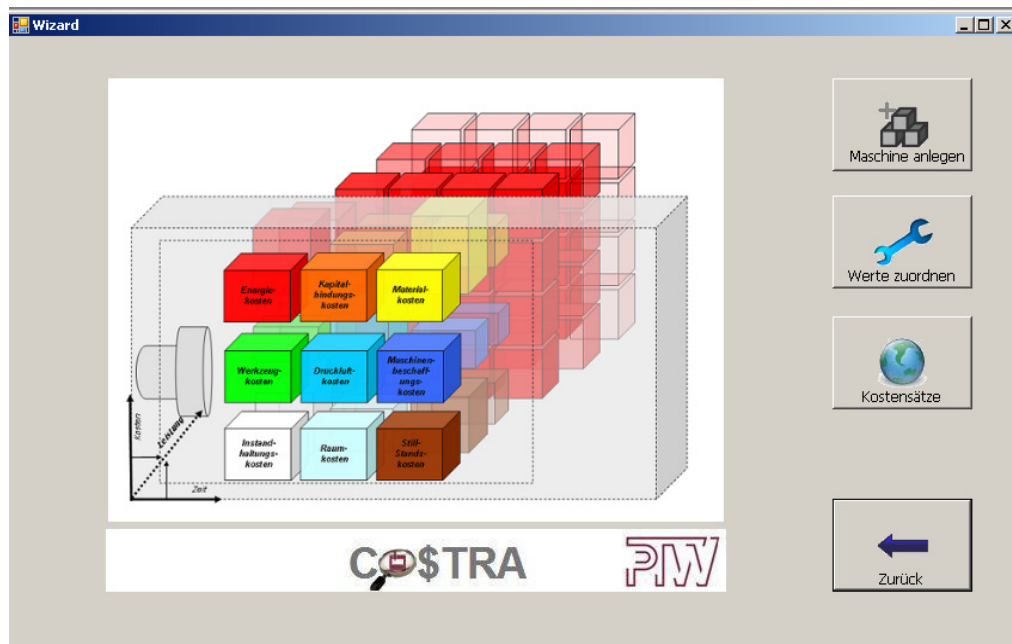


Abb. 15: Unterebenen der LKZ Datenbank

4.1.1 Maschine anlegen

Hier können neue Varianten eines Maschinentyps angelegt und der zugehörige Maschinenstammbaum erzeugt werden. Dafür werden einem gewählten Maschinentyp die folgenden Gliederungsebenen untergeordnet:

- Maschinenvariante (Variante des gewählten Maschinentyps)
- Funktionsgruppen, mit Angabe der Häufigkeit innerhalb der gewählten Maschinenvariante
- Bauteilgruppen, mit Angabe der Häufigkeit innerhalb der übergeordneten Funktionsgruppe

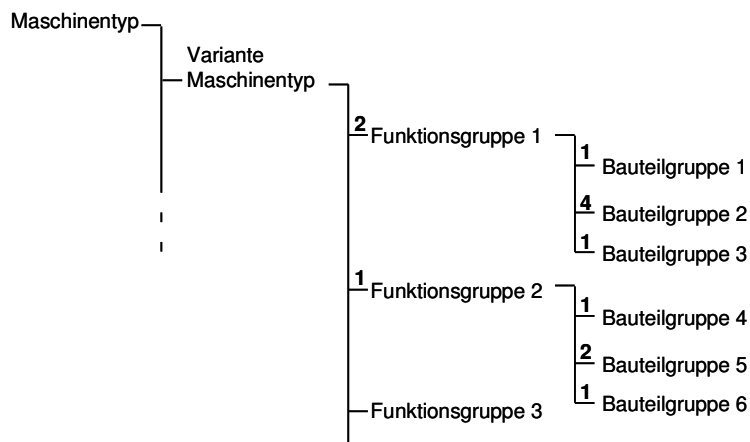


Abb. 16: Ebenen und Zuordnungsverhältnisse des Maschinenstammbaums

Um einheitliche Bezeichnungen zu gewährleisten, sind für Funktions- und Bauteilgruppen jeweils mehrere typische Standardbezeichnungen hinterlegt. Bestehende Maschinentypen und -varianten können jederzeit geändert und neue Funktions- oder Bauteilgruppen zugeordnet werden.

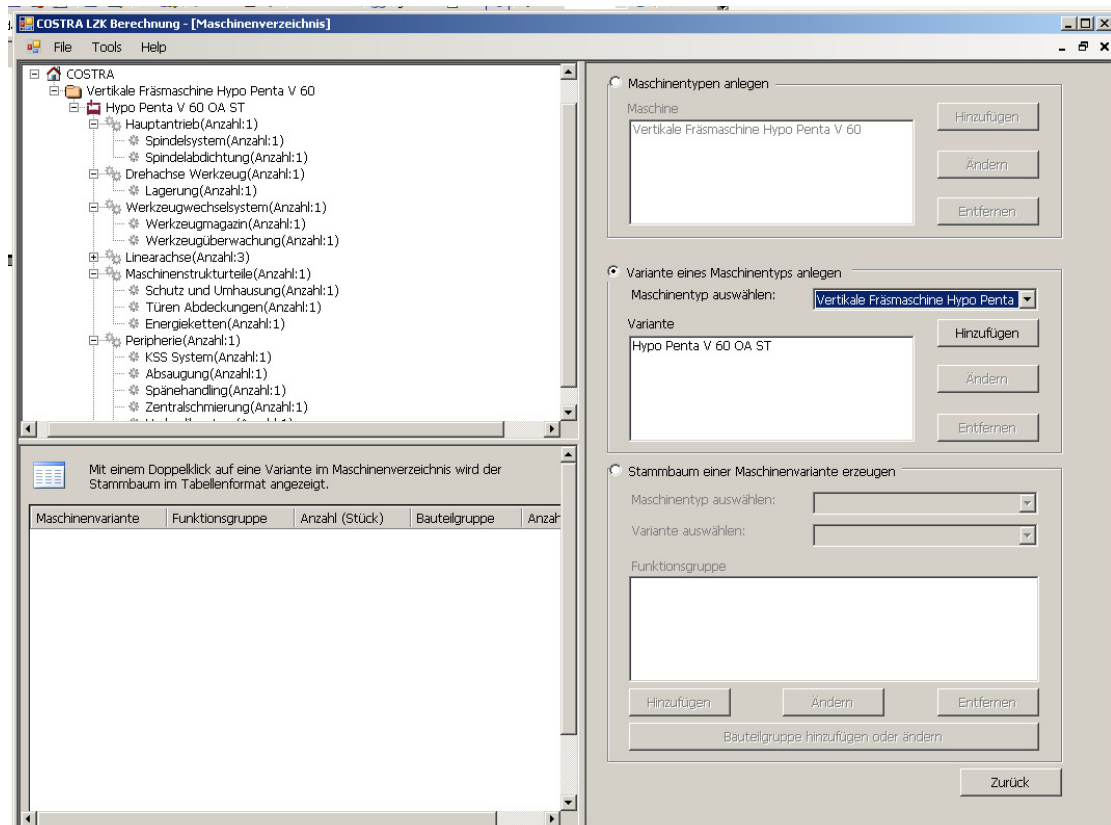


Abb. 16: Benutzeroberfläche „Maschine anlegen“

Für Maschinenvariante können weiterhin zusätzliche Informationen hinterlegt werden. Hierzu gehören

- Beschreibungen (Text)
- Bilder der Maschine
- Datenblätter der gewählten Variante (als word- oder .pdf-Dokument)

Außerdem können jeder Maschinenvariante bis zu fünf Demonstratorwerkstücke zugeordnet werden.

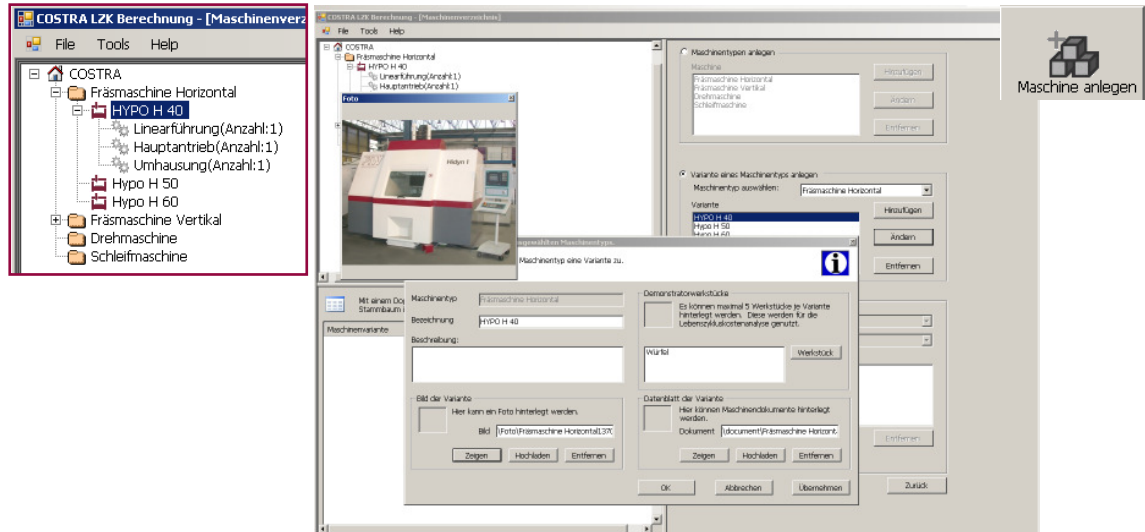


Abb. 17: Hinterlegen von Bildern, Datenblättern und Demonstratorwerkstücken für eine Maschinenvariante

4.1.2 Werte zuordnen

Auf dieser Ebene der Software werden den erstellten Maschinenvarianten auf Registerkarten LZK Werte zugewiesen, die für die Berechnung der LZK benötigt werden. Die Software übernimmt dabei die Struktur der Funktions- und Bauteilgruppen aus dem Maschinenstammbaum.

Die Registerkarten gliedern sich dabei in:

- Kosten der Maschinenbeschaffung
- Wartung und geplante Instandsetzung
- Ungeplante Instandsetzung
- Energiekosten
- Druckluftkosten
- Allgemeine Maschinendaten

COSTRA LZK Berechnung - [Parameter]

Bitte wählen Sie einen Maschinentyp aus der Liste:

- COSTRA
 - Vertikale Fräsmaschine Hypo Penta V 60
 - Hypo Penta V 60 OA ST**
 - Hauptantrieb (Anzahl:1)
 - Drehachse Werkzeug (Anzahl:1)
 - Lagerung (Anzahl:1)
 - Werkzeugwechselsystem (Anzahl:1)
 - Werkzeugmagazin (Anzahl:1)
 - Werkzeugüberwachung (Anzahl:1)
 - Linearachse (Anzahl:3)
 - Antrieb (Anzahl:1)
 - Führung Allgemein (Anzahl:1)
 - Wegmesssystem (Anzahl:1)
 - Abdeckung (Anzahl:1)
 - Maschinenstrukturtelle (Anzahl:1)
 - Peripherie (Anzahl:1)
 - Drehachse Werkstück (Anzahl:1)
 - Steuerung (Anzahl:1)

Maschinentyp: Vertikale Fräsmaschine Hypo Penta V 60 Variante: Hypo Penta V 60 OA ST

Kosten der Maschinenbeschaffung | Wartung & Geplante Instandsetzung | Ungeplante Instandsetzung | Energiekosten | Druckluftkosten | Allgemeine

Anschaffungspreis Maschine	175.000,00	EURO	Kosten Inbetriebnahme	1.200,00	EURO
Kosten Installation	2.500,00	EURO			

Werkzeugausrüstung

Werkzeugpaket 1	Paket 1	15.000,00	EURO	Anmerkung	
Werkzeugpaket 2		0,00	EURO	Anmerkung	
Werkzeugpaket 3		0,00	EURO	Anmerkung	

Ersatzteilkosten

Ersatzteilkosten 1	Paket 1	4.500,00	EURO
Ersatzteilkosten 2		0,00	EURO
Ersatzteilkosten 3		0,00	EURO

Zollkosten

Land 1		0,00	EURO
Land 2		0,00	EURO
Land 3		0,00	EURO

Frachtkosten

Ziel/Strecke 1		0,00	EURO
Ziel/Strecke 2		0,00	EURO
Ziel/Strecke 3		0,00	EURO

Schulungskosten Bedienungspersonal

Schulungspaket 1	Ein Tag	450,00	EURO
Schulungspaket 2	Zwei Tage	750,00	EURO
Schulungspaket 3		0,00	EURO

Beschreibung
Keine Automatisierung

Zurück Exportieren Speichern

Abb. 18: Registerkarten der Ebene „Werte zuordnen“

Um verschiedene Belastungsszenarien für niedrige, normale und hohe Belastung der Maschine zu simulieren, besteht dabei die Möglichkeit, die Werte der Zyklendauer der Wartung zu variieren.

Die Energie- und Druckluftkosten werden jeweils für die definierten Demonstratorbauteile gespeichert. Um auch hier unterschiedliche Szenarien rechnen zu können, können unterschiedliche Werte für die Maschinenzustände „bei



Institut für Produktionsmanagement,
Technologie und Werkzeugmaschinen



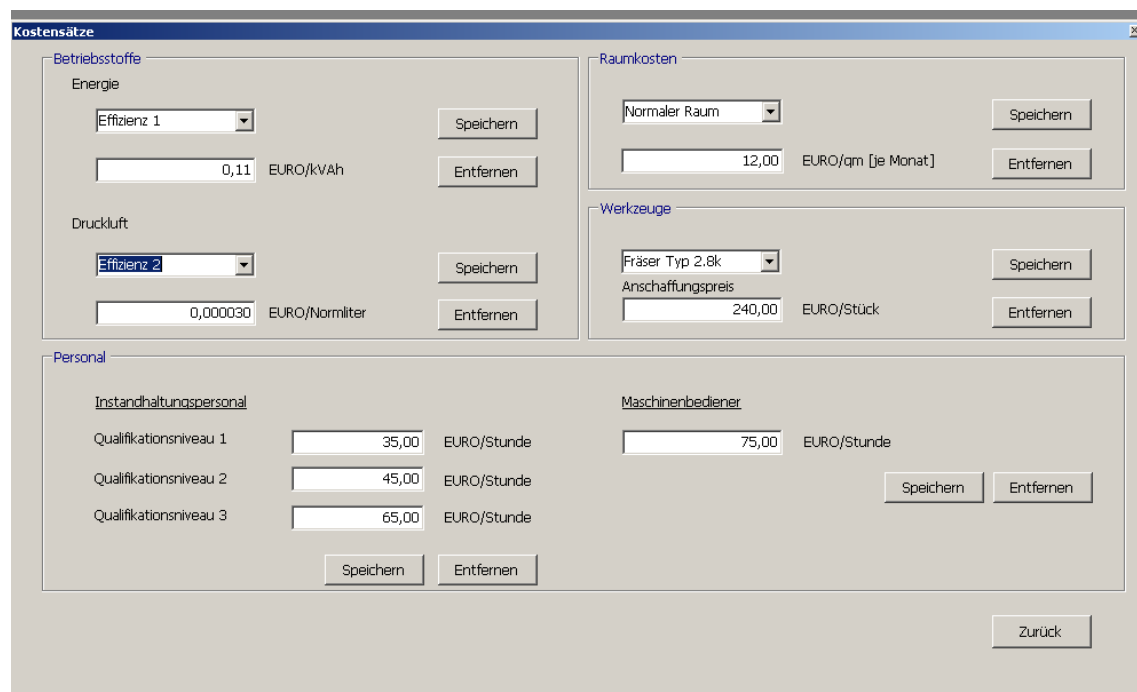
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Bearbeitung“, „bei Not-Aus“ sowie „bei Hauptschalter-Aus“ eingegeben werden. Außerdem können Werkzeugmaschine und Peripherie getrennt betrachtet werden.

4.1.3 Kostensätze

Die Kostensätze werden als universelle Variablen unabhängig von der Maschinenvariante verwendet. Die Kostensätze gliedern sich in

- Betriebsstoffe (Energie, Druckluft)
- Materialkosten Werkstück
- Werkzeuge
- Raumkosten
- Personal (Instandhaltungspersonal, Maschinenbediener)



The screenshot shows a software interface for entering cost rates. It is divided into several sections:

- Betriebsstoffe** (Operating Materials):
 - Energie** (Energy): A dropdown menu set to 'Effizienz 1', a text input field containing '0,11', and the unit 'EURO/kVAh'. Buttons for 'Speichern' and 'Entfernen' are present.
 - Druckluft** (Compressed Air): A dropdown menu set to 'Effizienz 2', a text input field containing '0,000030', and the unit 'EURO/Normliter'. Buttons for 'Speichern' and 'Entfernen' are present.
- Raumkosten** (Room Costs): A dropdown menu set to 'Normaler Raum', a text input field containing '12,00', and the unit 'EURO/qm [je Monat]'. Buttons for 'Speichern' and 'Entfernen' are present.
- Werkzeuge** (Tools): A dropdown menu set to 'Fräser Typ 2.8k', a text input field containing '240,00', and the unit 'EURO/Stück'. Buttons for 'Speichern' and 'Entfernen' are present.
- Personal** (Personnel):
 - Instandhaltungspersonal** (Maintenance Personnel): Three rows for 'Qualifikationsniveau 1', '2', and '3'. The values are 35,00, 45,00, and 65,00 respectively, with the unit 'EURO/Stunde'.
 - Maschinenbediener** (Machine Operator): A text input field containing '75,00' and the unit 'EURO/Stunde'. Buttons for 'Speichern' and 'Entfernen' are present.

At the bottom right, there is a 'Zurück' (Back) button.

Abb. 19: Eingabemaske „Kostensätze“

Um standortbedingte Kostenunterschiede abbilden zu können, besteht die Möglichkeit, für verschiedene Regionen verschiedene Werte zu speichern (z. B. unterschiedliche Energie- oder Raumkosten kosten innerhalb Deutschlands, aber auch international). Für das Instandhaltungspersonal werden drei Qualifikationsniveaus mit jeweils unterschiedlichem Kostensatz unterschieden.

4.2 Zweite Hauptebene: LZK Berechnen

Auf der Basis der in der in der LZK Datenbank hinterlegten Maschinenstammbäume und zugehöriger Werte können auf der zweiten Hauptebene LZK Werte für bestimmte Produktionsszenarien berechnet werden.

Abb. 20: Ausgangsoberfläche „LZK Berechnen“

Hierfür muss zunächst eine hinterlegte Maschinenvariante gewählt werden und für diese in der Ausgangsoberfläche ein passendes Szenario erstellt werden. Dabei ermöglicht die Methodik des COSTRA Softwaretool sowohl die Bewertung der Lebenszykluskosten als auch der Lebenszyklusperformance, da zusätzlich zu den Kosten auch Prozesszeiten für die Fertigung von Demonstratorbauteilen berücksichtigt werden und zu den resultierenden Lebenszykluskosten in Relation gesetzt werden.

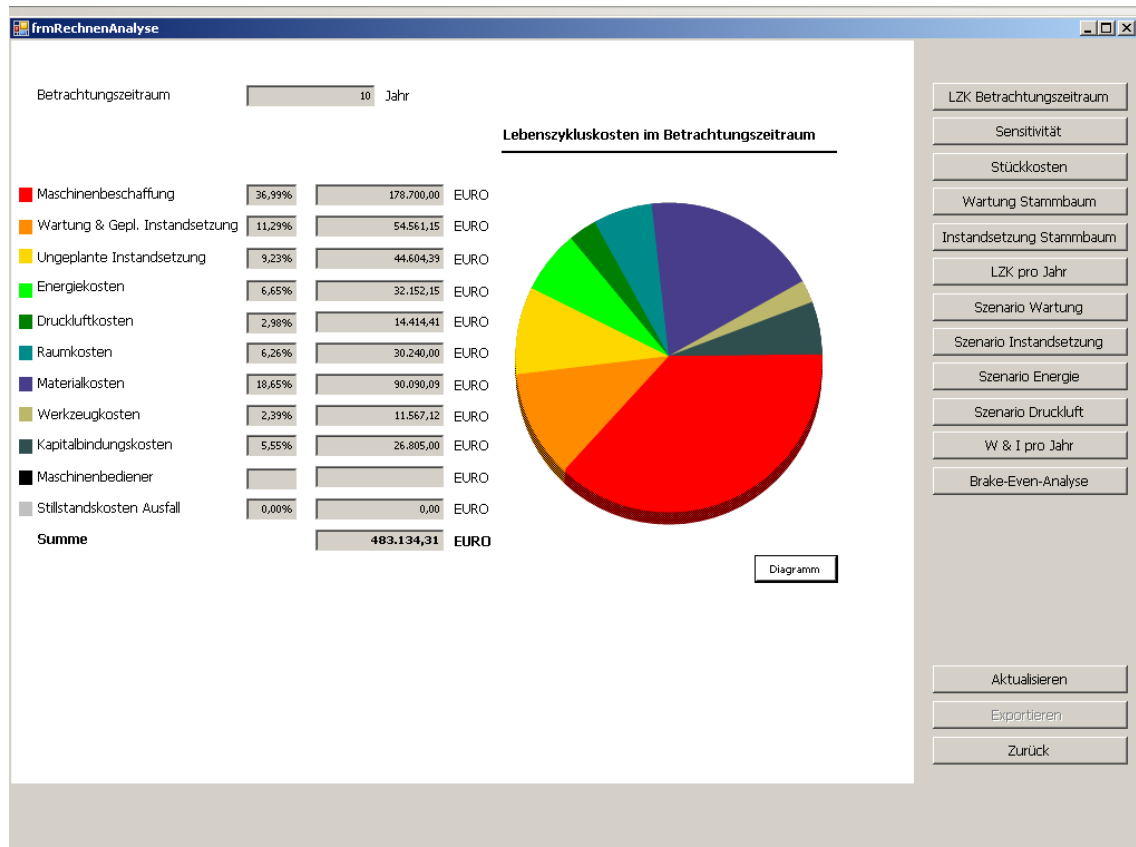
Erstellen des Betriebsszenarios

Um eine möglichst detailgenaue und auf die Bedürfnisse des Anwenders zugeschnittene Analyse durchführen zu können, werden auf der Ausgangsoberfläche alle relevanten Daten zum geplanten Betrieb der Maschine abgefragt. Diese erfordern entweder die Eingabe eines Zahlenwertes oder sie können durch Markierung gewählt werden. Hierzu zählen:

- Wahl eines Demonstratorprozesses
- Auswahl der Kostentreiber:
Durch Anklicken der entsprechenden Felder können diejenigen Kostentreiber, die bei der LZK Berechnung berücksichtigt werden sollen, ausgewählt werden. Zur Auswahl stehen die Felder Maschinenbeschaffung, Wartung & geplante Instandsetzung, ungeplante Instandsetzung, Energie- und Druckluftkosten, Raum- und Materialkosten, Werkzeugkosten, Kapitalbindungskosten, Kosten Maschinenbediener sowie Stillstandskosten bei Ausfall.
- Auswahl Betriebsszenarien:
Anzugeben sind u. a. der Betrachtungszeitraum und die Abschreibungszeit, die Belastung der Maschine durch den Prozess, die Prozesszeit pro Werkstück, die geplante Produktionsmenge, der Qualitätsgrad, die Jahresarbeitszeit des Betriebs, die Garantiebedingungen und das bestehen eines Wartungsvertrages, die Reaktionszeit des Services bei Ausfall und die Stillstandskosten bei Ausfall.
- Per scroll-down-Menü können außerdem die in der Datenbank hinterlegten Kostensätze ausgewählt werden.

Auswahl Analysen / Abfrage der LZK Berechnungen

Auf der Grundlage der in der Datenbank für die Maschinenvariante hinterlegten Werte und des gewählten Betriebsszenarios können in einem Analysefenster nun eine Vielzahl von LZK Berechnungen und Werten abgefragt werden. Hierzu ist auf der Ausgangsoberfläche der Schalter „Auswahl Analysen“ zu aktivieren.



Ab. 21: Analysefenster mit Übersicht über die verfügbaren Analysemodule

Folgende Analysemodule stehen hier zur Verfügung:

- LZK Betrachtungszeitraum
→ LZK - Summe, Kostenelemente frei wählbar
- Sensitivität
→ Sensitivitätsanalyse über verschiedene Kostentreiber und Taktzeit
- Stückkosten
→ Stückkosten mit variierbarer Taktzeit Annahme
- Wartung Stammbaum
→ Analyse der Wartungskosten je Komponente
- Instandsetzung Stammbaum
→ Analyse der Instandsetzung je Komponente
- LZK pro Jahr
→ jährliche Verteilung der LZK Kosten (z.B. Instandsetzung)
- Szenario Wartung
→ Wartungskosten mit & ohne Wartungsvertrag

- Szenario Instandsetzung
→ Kosten mit / ohne Stillstandskosten, versch. Servicereaktionszeiten
- Szenario Energie
→ mit / ohne Berücksichtigung Stand-By Energieverbrauch
- Szenario Druckluft
→ mit / ohne Berücksichtigung Stand-By Druckluftverbrauch
- Szenario Material
→ mit / ohne kostenmäßiger Erfassung Ausschuss
- W & I pro Jahr
→ jährliches Aufkommen von Wartungskosten und Kosten aus ungeplanter Instandsetzung
- Break-Even-Analyse
→ Pay-Back-Analyse für Demonstratorbauteil (bei Angabe eines Stückerlös)

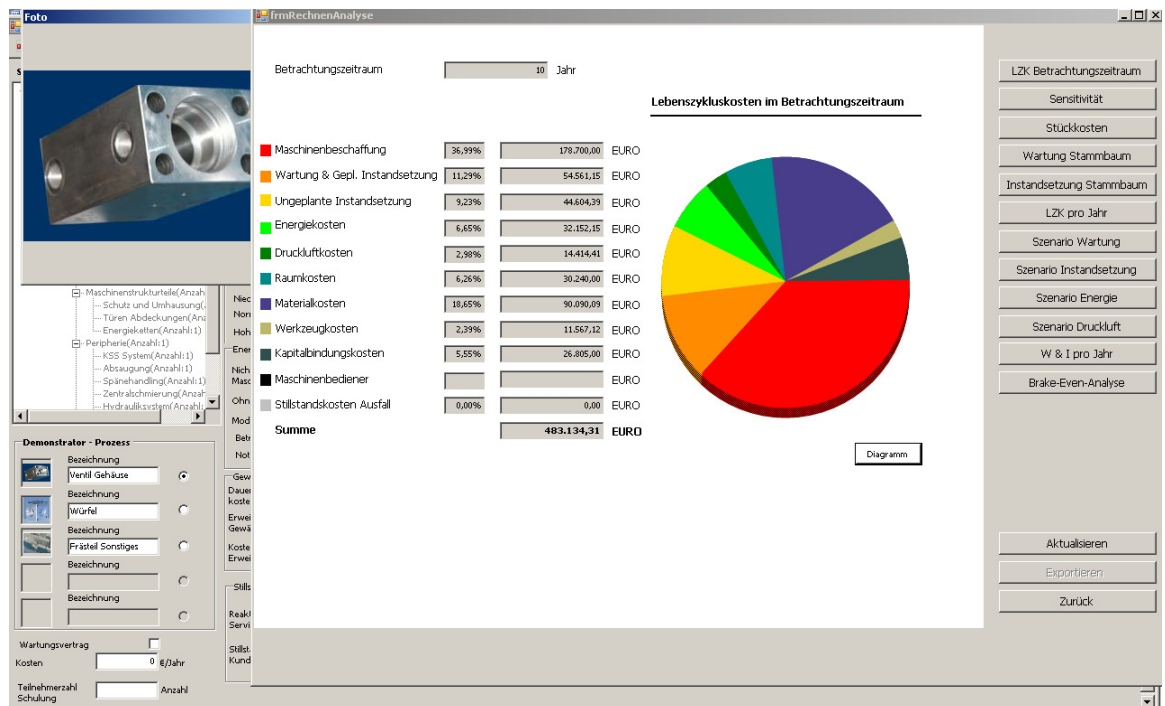
4.3 Analysebeispiele CO\$TRA Software

LZK im Betrachtungszeitraum:

Betrachtet werden die Kosten der Maschinenbeschaffung inklusive aller ausgewählten Kostenelemente der laufenden Kosten. Bei der Stückkostenbetrachtung werden alle Kostenelemente aus dem Lebenszyklus der Werkzeugmaschine unter Berücksichtigung der Prozesszeit des ausgewählten Demonstratorbauteils auf die resultierenden Kosten pro Stück bezogen.

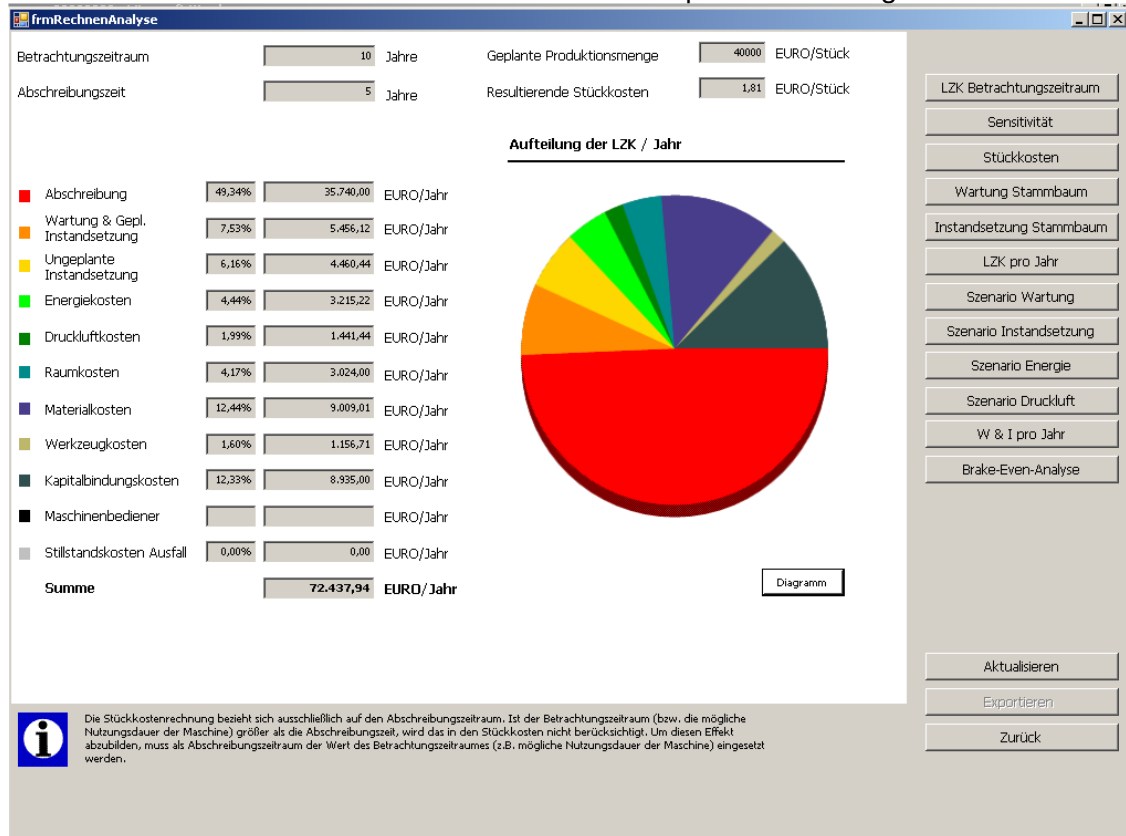
Im unten stehenden Beispiel erfolgte die Kalkulation der LZK für eine 5-Achsige vertikale Fräsmaschine (NC Schwenkrundtisch), ohne Automatisierung, mit einem Verfahrensweg von 630 x 510 x 460, einer Spindeldrehzahl von 18.000 1/min und einer Spindelleistung von 10 kW.

Das Demonstratorbauteil war in vorliegendem Fall ein Ventilgehäuse mit einer Prozesszeit von 238 Sekunden.



Stückkosten:

Bei der Stückkostenbetrachtung werden alle Kostenelemente aus dem Lebenszyklus der Werkzeugmaschine unter Berücksichtigung der Prozesszeit des ausgewählten Demonstratorbauteils auf die resultierenden Kosten pro Stück bezogen.



Wartung Stammbaum:

Aufteilung der Wartungskosten auf Bauteil- und Funktionsgruppenebene sowie einzelne Kostenelemente. Dieses Analysemodul unterstützt den Werkzeugmaschinenhersteller dabei Analysen über die Kostentreiber in der Wartung seiner Maschine durchzuführen. Die Gesamtkosten werden hierfür, ausgehend von den einzelnen Wartungsvorgängen, den Bauteilgruppen und Funktionsgruppen der Werkzeugmaschine zugewiesen. Es werden Kennwerte wie beispielsweise die Anzahl der Wartungsvorgänge pro Jahr, die Dauer der Wartung je Bauteilgruppe sowie die Ersatzteilkosten je Bauteil- und Funktionsgruppe ermittelt.

frmRechnenAnalyse								
Bezogen auf jede einzelne Bauteilgruppe								
Funktionsgruppe	Bauteilgruppe	Anzahl BG	Anzahl Vorgänge je BG [pro Jahr]	Anzahl Vorgänge alle BG [pro Jahr]	Dauer Wartung je BG [h/Jahr]	Dauer Wartung alle BG [h/Jahr]	Kosten Ersatzteile je BG [€/Jahr]	Kosten-Ersatz BG [€]
Drehachse Werkzeug	Lagerung	1	166,83	166,83	13,85	13,85	0,00	0,00
Hauptantrieb	Spindelsystem	1	555,82	555,82	24,05	24,05	33,49	33,49
Hauptantrieb	Spindelabdichtung	1	1,11	1,11	0,09	0,09	0,00	0,00
Linearachse	Antrieb	1	1,34	1,34	0,22	0,22	16,68	16,68
Linearachse	Führung Allgemein	1	27,58	27,58	5,41	5,41	0,00	0,00
Linearachse	Wegmesssystem	1	27,36	27,36	0,90	0,90	0,80	0,80
Linearachse	Abdeckung	1	28,03	28,03	3,68	3,68	6,67	6,67
Maschinenstrukturteile	Schutz und Umhausung	1	220,88	220,88	12,84	12,84	13,34	13,34

Bezogen auf jede einzelne Funktionsgruppe						
Funktionsgruppe	Anzahl FG	Anzahl Vorgänge je FG [pro Jahr]	Dauer Wartung je FG [h/Jahr]	Kosten Ersatzteile je FG [€/Jahr]	Personalkosten je FG [€/Jahr]	Wartungskost Gesamt [€/Jahr]
Drehachse Werkzeug	1	166,83	13,85	0,00	623,12	623,12
Hauptantrieb	1	556,93	24,14	33,49	1.086,19	1.119,67
Linearachse	3	84,31	10,21	24,15	374,53	398,69
Maschinenstrukturteile	1	248,90	15,23	20,01	638,72	658,76

- LZK Betrachtungszeitraum
- Sensitivität
- Stückkosten
- Wartung Stammbaum
- Instandsetzung Stammbaum
- LZK pro Jahr
- Szenario Wartung
- Szenario Instandsetzung
- Szenario Energie
- Szenario Druckluft
- W & I pro Jahr
- Brake-Even-Analyse

Instandsetzung Stammbaum:

Das Analysemodul „Instandsetzung Stammbaum“ erfüllt den gleichen Zweck wie „Wartung Stammbaum“. Es ermöglicht dem Werkzeugmaschinenhersteller die Identifikation der wesentlichen Kostenverursacher in der ungeplanten Instandsetzung. Auch hierfür werden die Instandsetzungskosten auf Bauteil- und Funktionsgruppen sowie einzelne Kostenelemente aufgegliedert.

frmRechnenAnalyse										
Bezogen auf jede einzelne Bauteilgruppe										
Funktionsgruppe	Bauteilgruppe	Anzahl BG	MTBF je BG [h]	MTBF alle BG [h]	MTTR je BG [h]	MTTR alle BG [h]	MCRP [€ je Einheit]	ET-Kosten alle BG [€ /Jahr]	Personalkosten alle BG [€ /Jahr]	Ausfälle je BG Anzahl/Jahr
Drehachse Werkstück	Antrieb	1	40.000,00	40.000,00	4,00	4,00	1.800,00	60,06	8,68	0,03
Drehachse Werkstück	Abdichtung	1	40.000,00	40.000,00	3,00	3,00	700,00	23,36	6,51	0,03
Drehachse Werkstück	Winkelmesssystem	1	5.000,00	5.000,00	8,00	8,00	500,00	133,47	138,81	0,27
Hauptantrieb	Spindelsystem	1	10.000,00	10.000,00	4,00	4,00	8.000,00	1.067,74	34,70	0,13
Hauptantrieb	Spindelabdichtung	1	1.200,00	1.200,00	0,50	0,50	210,00	233,57	36,15	1,11
Linearachse	Antrieb	1	45.000,00	45.000,00	6,00	6,00	2.500,00	74,15	11,57	0,03
Linearachse	Führung Allgemein	1	5.212,36	5.212,36	3,24	3,24	328,19	84,03	53,98	0,26
Linearachse	Wegmesssystem	1	4.000,00	4.000,00	8,00	8,00	500,00	166,83	173,51	0,33

LZK pro Jahr:

Hier erfolgt die Aufgliederung der gesamten LZK auf die einzelnen Jahre des Betrachtungszeitraums. Hierdurch werden beispielsweise Ausfallhäufigkeiten bestimmter Komponenten in bestimmten Zeiträumen oder die relative Bedeutung der Energiekosten in den gesamten LZK bei angenommener prozentualer jährlicher Veränderung der Energiekostensätze offensichtlich.

frmRechnenAnalyse										
	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Jahr 5	Jahr 6	Jahr 7	Jahr 8	Jahr 9	Jahr 10
Abschreibung	35.740,00	35.740,00	35.740,00	35.740,00	35.740,00	0	0	0	0	0
Wartung & Gepl. Instandsetzung	5.078,04	5.592,64	5.643,26	5.110,63	5.592,64	5.677,26	5.093,54	5.590,19	5.649,44	5.097,58
Ungeplante Instandsetzung	1.262,50	1.912,50	1.707,50	3.812,50	2.217,50	2.460,00	2.255,00	12.817,50	2.460,00	1.912,50
Energiekosten	3.215,22	3.215,22	3.215,22	3.215,22	3.215,22	3.215,22	3.215,22	3.215,22	3.215,22	3.215,22
Druckluftkosten	1.441,44	1.441,44	1.441,44	1.441,44	1.441,44	1.441,44	1.441,44	1.441,44	1.441,44	1.441,44
Raumkosten	3.024,00	3.024,00	3.024,00	3.024,00	3.024,00	3.024,00	3.024,00	3.024,00	3.024,00	3.024,00
Materialkosten	9.009,01	9.009,01	9.009,01	9.009,01	9.009,01	9.009,01	9.009,01	9.009,01	9.009,01	9.009,01
Werkzeugkosten	1.156,71	1.156,71	1.156,71	1.156,71	1.156,71	1.156,71	1.156,71	1.156,71	1.156,71	1.156,71
Kapitalbindungskosten	8.935,00	8.935,00	8.935,00	8.935,00	8.935,00	0	0	0	0	0
Maschinenbediener										
Stillstandskosten Ausfall	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Summe	68.861,92	70.026,52	69.872,14	71.444,51	70.331,52	25.983,64	25.194,92	36.254,07	25.955,82	24.856,46

Wartung & Instandsetzung pro Jahr:

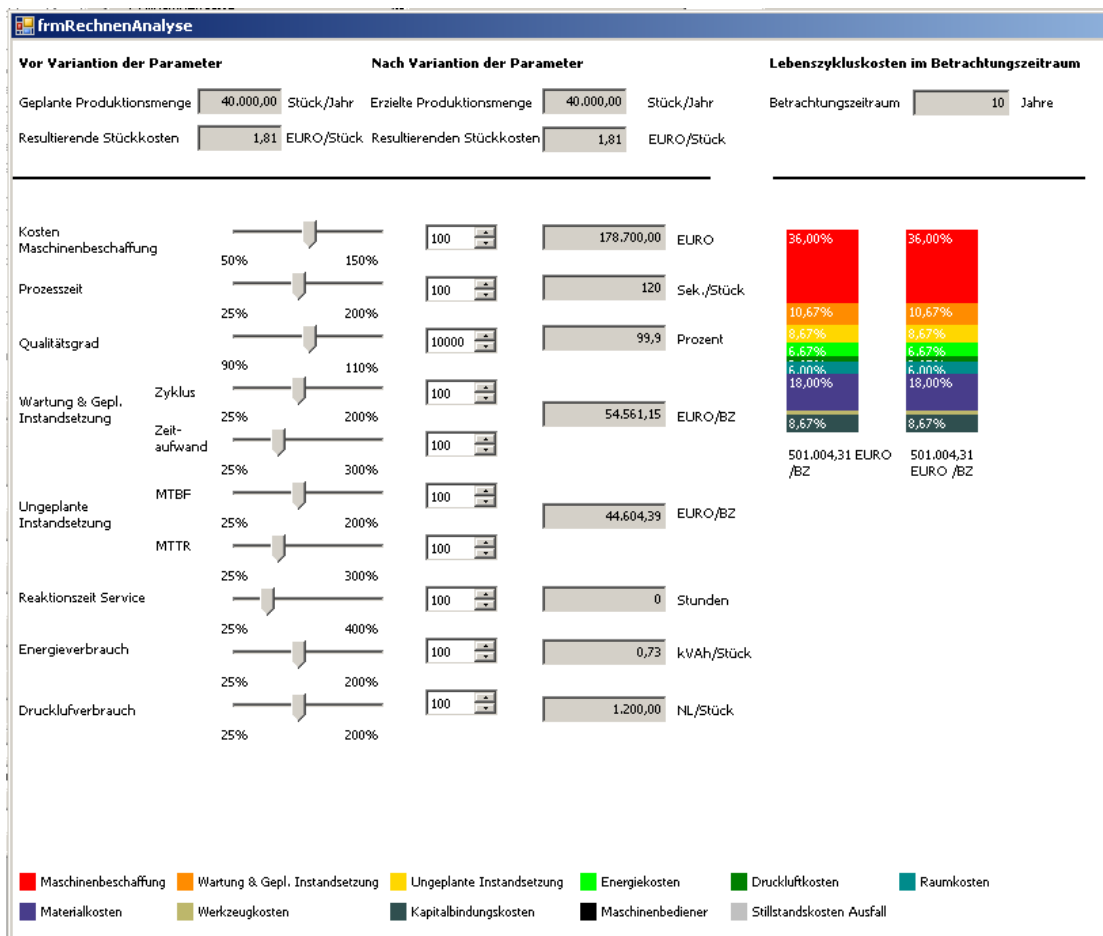
Bietet einen vordefinierten Vergleich der resultierenden Wartungskosten und Instandsetzungskosten pro Jahr entsprechend der angenommenen Ausfallwahrscheinlichkeit.

frmRechnenAnalyse										
Betrachtungszeitraum	10 Jahre		Dauer Gewährl. kostenfrei	0 Monate						
Geplante Produktionsmenge	40.000,00 Stück / Jahr		Erweiterung Gewährleistung	0 Monate						
			Kosten Erweiterung	0 EURO						
	Jahr1	Jahr2	Jahr3	Jahr4	Jahr5	Jahr6	Jahr7	Jahr8	Jahr9	Jahr10
Wartung & gepl. Instandsetzung										
Ersatzteile und Verbrauchsmaterial (kein Vertragsinhalt)	436,20	446,90	476,90	436,40	446,90	476,90	436,20	446,90	476,90	436,40
Personalkosten (kein Vertragsinhalt)	4.632,30	4.743,94	4.761,19	4.651,43	4.743,94	4.761,19	4.634,55	4.743,94	4.761,19	4.649,18
Ersatzteile und Verbrauchsmaterial (Vertragsinhalt)	0,00	233,80	233,60	0,20	233,80	258,60	0,20	233,60	233,80	0,20
Personalkosten (Vertragsinhalt)	9,55	168,01	171,57	22,60	168,01	180,57	22,60	165,76	177,55	11,80
Vertrag	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ungeplante Instandsetzung										
Ersatzteile	710,00	1.035,00	960,00	2.285,00	1.210,00	1.485,00	1.410,00	10.835,00	1.420,00	1.035,00
Personalkosten	552,50	877,50	747,50	1.527,50	1.007,50	975,00	845,00	1.982,50	1.040,00	877,50
Kosten Gewährleistung	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Sensitivität gesamt:

Durch Schieberegler können Parameter wie Kosten Maschinenbeschaffung, Prozesszeit, Qualitätsgrad, Wartung & gepl. Instandsetzung, Ungeplante Instandsetzung, Reaktionszeit Service, Energie- und Druckluftverbrauch einfach variiert werden und anschließend die Berechnung aktualisiert werden. So kann experimentell erprobt werden, welchen Einfluss Veränderungen einzelner Parameter auf LZK, Gesamtkosten und Stückkosten haben. Dies unterstützt beispielsweise die Maschinenhersteller bei zukünftigen Entscheidungen in der Konstruktion ihrer Maschinen bei einer Ausrichtung auf ein lebenszykluskostenoptimales Verhalten. Gleichzeitig kann gegenüber dem Kunden argumentiert werden, inwieweit beispielsweise eine kürzere Prozesszeit der eigenen Maschine im Vergleich zu einer „langsameren“ aber günstigeren Maschine eines Wettbewerbers sich positiv oder negativ auf den Kundennutzen auswirkt.

Im unten stehenden Beispiel wurde analysiert, um wie viel Prozent eine Maschine maximal teurer sein kann, wenn sie dem Kunden gleichzeitig den Vorteil einer kürzeren Prozesszeit bietet. Im Beispiel konnte gezeigt werden, dass man bei einem um 5 % schnelleren Prozess eine um 10 % teurere Maschine anbieten kann, die dann für den Kunden (gemessen an den Stückkosten) letztlich den größeren Nutzen nach sich zieht.



Break Even Analyse:

Bei Vorgabe eines Stückerlöses können mittels dieses Analysemoduls über den jährlichen Verlauf Break Even Analysen durchgeführt werden.

frmRechnenAnalyse

Fixe Kosten	223.375,00	EURO	Geplante Produktionsmenge	40.000,00	Stück / Jahr
Ø Resultierende Stückkosten	1,22	EURO / Stück	Erlös pro Stück	0,25	EURO / Stück
Ø Variable Kosten	0,66	EURO / Stück	Gewinnschwelle	-544.817,07	Produktionsmenge

	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Jahr 5	Jahr 6	Jahr 7	Jahr 8	Jahr 9	Jahr 10
Abschreibung [€]	35.740,00	35.740,00	35.740,00	35.740,00	35.740,00	0	0	0	0	0
Kapitalbindung [€]	8.935,00	8.935,00	8.935,00	8.935,00	8.935,00	0	0	0	0	0
Wartung [€]	5.078,04	5.592,64	5.643,26	5.110,63	5.592,64	5.677,26	5.093,54	5.590,19	5.649,44	5.097,58
Ungeplante Instandsetzung [€]	1.262,50	1.912,50	1.707,50	3.812,50	2.217,50	2.460,00	2.255,00	12.817,50	2.460,00	1.912,50
Energiekosten [€]	3.215,22	3.215,22	3.215,22	3.215,22	3.215,22	3.215,22	3.215,22	3.215,22	3.215,22	3.215,22
Druckluftkosten [€]	1.441,44	1.441,44	1.441,44	1.441,44	1.441,44	1.441,44	1.441,44	1.441,44	1.441,44	1.441,44
Raumkosten [€]	3.024,00	3.024,00	3.024,00	3.024,00	3.024,00	3.024,00	3.024,00	3.024,00	3.024,00	3.024,00
Materialkosten [€]	9.009,01	9.009,01	9.009,01	9.009,01	9.009,01	9.009,01	9.009,01	9.009,01	9.009,01	9.009,01
Werkzeugkosten [€]	1.156,71	1.156,71	1.156,71	1.156,71	1.156,71	1.156,71	1.156,71	1.156,71	1.156,71	1.156,71
Maschinenbediener [€]										
Stillstandskosten Ausfall [€]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kumulierte Produktionsmenge	40.000,00	80.000,00	120.000,00	160.000,00	200.000,00	240.000,00	280.000,00	320.000,00	360.000,00	400.000,00
Stückkosten [€]	1,7215	1,7507	1,7468	1,7861	1,7583	0,6496	0,6299	0,9064	0,6489	0,6214
Variable Stückkosten [€]	0,6047	0,6338	0,6299	0,6692	0,6414	0,6496	0,6299	0,9064	0,6489	0,6214
Erlös [€]	10.000,00	10.000,00	10.000,00	10.000,00	10.000,00	10.000,00	10.000,00	10.000,00	10.000,00	10.000,00
Gewinn und Verlust [€]	-58.861,92	-60.026,52	-59.872,14	-61.444,51	-60.331,52	-15.983,64	-15.194,92	-26.254,07	-15.955,82	-14.856,46

Bitte wählen Sie zunächst die Analysemodule "Stückkosten" und "LZK pro Jahr" aus. Erst dann werden die Werte für "Break-Even-Analyse" berechnet und angezeigt.
Fixe Kosten umfassen: Kosten Maschinenbeschaffung und Kapitalbindungskosten (über den Abschreibungszeitraum). Variable Stückkosten umfassen: Wartung, ungeplante Instandsetzung, Energie- und Druckluftkosten, Raumkosten, Materialkosten, Werkzeugkosten, Maschinenbediener und Stillstandskosten.
 Gewinnschwelle=Fixe Kosten/(Erlös pro Stück-Variable Kosten)

5 Veröffentlichungen

Abele, Eberhard; Dervisopoulos, Marina (2006): Lebenszyklusmanagement betrifft Hersteller und Anwender. Optimierung, durch partnerschaftliche Zusammenarbeit; in: VDMA Nachrichten 05-06, S. 39-40.

Kuhrke, Benjamin; Rothenbücher, Stefan; Dervisopoulos, Marina (2007): Die Energiebilanz muss stimmen. Trotz steigender Energiekosten bleiben viele Einsparpotentiale bislang noch ungenutzt; in: Werkstatt und Betrieb (WB) 7-8/2007, S. 20-26.

Abele, Eberhard; Kreis, Michael; Dervisopoulos, Marina (2006): Neue Diagnosemöglichkeiten durch hybrid gelagerte Motorspindeln. Potenziale der Sensor(Aktir – basierten Systemdiagnose zur Beeinflussung der Total Cost Of Ownership; in: ZWF Jahrg. 101 (2006) 7/8, S. 402-407.

Dervisopoulos, Marina; et alt. (2006): Life Cycle Costing im Maschinen- und Anlagenbau; in: Industrie Management 22 (2006), S. 55-58.

Abele, Eberhard; Dervisopoulos, Marina; Kreis, Michael (2006): Beeinflussbarkeit von Lebenszykluskosten durch Wissensaustausch. Produzieren mit Blick auf die Lebenszykluskosten; in: wt Werkstattstechnik online Jahrgang 96 (2006) H. 7/8, S. 447-454.

Abele, Eberhard; Dervisopoulos, Marina (2008): Nutzung von Lebenszykluskostenanalysen von Werkzeugmaschinen im Vertrieb und der Entwicklung; in: ZWF Jahrg. 103 (2008) 6/2008, S. 380-384.

Abele, Eberhard; Dervisopoulos, Marina; Kuhrke, Benjamin (2008): Bedeutung und Anwendung von Lebenszyklusanalysen bei Werkzeugmaschinen; in: Lebenszykluskosten optimieren, Stefan Schweiger (Hrsg.); Gabler Verlag, Wiesbaden 2008.