

# Diplomarbeit

Nr. IM/04/2022

## **Entwicklung eines Konzeptes zur Entscheidungsunterstützung bei geplanter Anlagen-Ersatzinvestition**

eingereicht bei der Fakultät Automobil- und Maschinenbau  
der Westsächsischen Hochschule Zwickau  
am 29.06.2022

zur Erlangung des akademischen Grades eines

### **Diplomingenieurs (FH)**

vorgelegt von:

**Frau cand. ing. K ü n z e l, N a d i n**  
geb. am: 03.04.1998 in Schlema

Studiengang Industrial Management & Engineering  
Schwerpunkt Fabrik- und Prozessplanung

Auftraggeber: Westsächsische Hochschule Zwickau

## **Autorenreferat**

Anlagen-Ersatzinvestitionen spielen in produzierenden Unternehmen immer wieder eine wichtige Rolle, denn das wirtschaftliche Agieren ist eine der Hauptaufgaben eines Betriebes. Dazu gehört auch, dass die Prozesse im höchstmöglichen Grade störungsfrei ablaufen. Aus diesem Grund ist die regelmäßige Überprüfung der sich in Betrieb befindlichen Anlagen von Vorteil um rechtzeitig reagieren zu können, sollten sich Alternativen anbieten, die aus finanzieller und technischer Sicht geeigneter sind. Das in der hier vorliegenden Arbeit dargestellte Konzept zur Entscheidungsunterstützung bei geplanter Anlagen-Ersatzinvestition dient dazu einen Leitfaden anzubieten, anhand dessen ein Entscheidungsprozess durchgeführt werden kann. Dabei ist es möglich zu einem beliebigen Zeitpunkt eine Anlage unter ganzheitlichen, d.h. sowohl monetären, als auch nicht monetären Gesichtspunkten, zu betrachten und zusätzlich mit einer Ersatzalternative zu vergleichen. Die Umsetzung wird schrittweise erklärt und an einem Beispiel näher veranschaulicht. Darüber hinaus wurde im Zuge der Diplomarbeit ein Excel-Tool erarbeitet, welches als Vorlage für weitere Anwendungen genutzt werden kann. Zusammen mit den erklärten Schritten der Analyse kann das Tool individuell angepasst oder erweitert werden.



## Diplomaufgabe

IM/04/2022

für Frau cand. ing. Nadin Künzel

Industrial Management and Engineering/Fabrik- und Prozessplanung

Tag der Ausgabe:	19.05.2022
Abgabetermin:	08.09.2022
Tag der Abgabe:	
Erstprüfer/in:	Prof. Dr.-Ing. Andrea Kobylka
Zweitprüfer/in:	Prof. Dr.-Ing. Michael Kaiser
Auftraggeber:	WHZ

### Thema

Entwicklung eines Konzeptes zur Entscheidungsunterstützung bei geplanter Anlagen-Ersatzinvestition

### Aufgabe

Zur Entwicklung eines Konzeptes zur Unterstützung der Entscheidung für oder gegen eine Anlagen-Ersatzinvestitionen sind folgende Schwerpunkte zu bearbeiten:

1. Zusammenstellung und Systematisierung der Einflusskriterien auf eine Anlagen-Ersatzinvestitions-Entscheidung
2. Entwicklung einer für die Entscheidung relevanten Kostenrechnung
3. Entwicklung eines Konzeptes zur Entscheidungsunterstützung, das sowohl monetäre als auch nicht monetäre Kriterien berücksichtigt
4. Darstellung und Diskussion des Konzeptes an einem Beispiel

Für die Anfertigung der Abschlussarbeit sind die Richtlinien der Fakultät Automobil- und Maschinenbau zu beachten. Wenn sich die Notwendigkeit ergibt, kann der Umfang der Aufgabenstellung vom ausgebenden Professor erweitert oder eingeschränkt werden. Veröffentlichungen über den Inhalt der Abschlussarbeit dürfen, sofern die Arbeit mit einem Sperrvermerk versehen wird, nur mit Zustimmung des Auftraggebers vorgenommen werden.

Prof. Dr.-Ing. Andrea Kobylka  
Betreuende/r Erstprüfer/-in

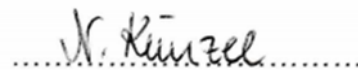
Prof. Dr.-Ing. Andrea Kobylka  
Vorsitzende des Prüfungsausschusses

## Erklärung zur selbstständigen Anfertigung der Arbeit

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbstständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder sinngemäß aus anderen Quellen übernommene Textstellen, Bilder, Tabellen u. a. sind unter Angabe der Herkunft kenntlich gemacht.

Weiterhin versichere ich, dass diese Arbeit oder eine ähnliche Arbeit mit in Teilen wesentlicher Inhaltsübereinstimmung noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt wurde.

Wernesgrün, am 22.06.2022

A handwritten signature in black ink, reading "N. Künzel", is written over a horizontal dotted line. The signature is cursive and appears to be "Nadin Künzel".

Nadin Künzel

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit  
wird auf die weibliche Sprachform verzichtet.  
Sämtliche Personenbezeichnungen gelten  
gleichermaßen für beide Geschlechter.

## Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abbildungen	III
Verzeichnis der Tabellen	IV
Verzeichnis der Formeln	V
1 Einleitung	1
2 Vorbetrachtungen bei geplanter Anlagen-Ersatzinvestition	3
2.1 Gründe für einen Maschinenersatz	3
2.2 Einflusskriterien auf eine Anlagen-Ersatzinvestitions-Entscheidung	5
3 Methoden des Variantenvergleichs	11
3.1 Entscheidungsprobleme	11
3.2 Der Entscheidungsprozess	12
3.3 Grundlagen zum Auswählen und Bewerten	14
3.4 Gewählte Methode zur Entscheidungsunterstützung	17
4 Relevante Kosten zum Vergleich der Alt-Maschine mit Alternativen	23
4.1 Fertigungskosten	23
4.2 Kalkulation der Auftragsangebotskosten	28
5 Erstellung einer Methode zur Entscheidungsunterstützung bei einem Maschinenersatz	30
5.1 Vorstellung Gesamtkonzept	30
5.2 Schritt 1: Vorauswahl der Ersatzalternativen	32
5.3 Schritt 2: Sammlung der für den Vergleich relevanten Daten	34
5.4 Schritt 3: Definition der Entscheidungskriterien und Erstellung der Entscheidungstabelle	39
5.5 Schritt 4: Bewertung und Entscheidung	41
6 Anwendung der Methode an einem Beispiel	43
6.1 Vorstellung des Beispielszenarios	43
6.2 Schritt 1: Vorauswahl der Ersatzalternativen	46
6.3 Schritt 2: Sammlung der für den Vergleich relevanten Daten	48

6.4	Schritt 3: Definition der Entscheidungskriterien und Erstellung der Entscheidungstabelle	56
6.5	Schritt 4: Bewertung und Entscheidung	59
7	Zusammenfassung und Ausblick	66
	Literaturquellen	69
	Verzeichnis der Anlagen	72

## Verzeichnis der Abbildungen

<b>Abbildung</b>	<b>Name</b>	<b>Seite</b>
1	Einflusskriterien auf eine Anlagen-Ersatzinvestitionsentscheidung	5
2	Offene Fragen bei der Überlegung einer Anlagen-Ersatzinvestition	6
3	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bei der Überlegung einer Anlagen-Ersatzinvestition	7
4	Aufwände bei geplanter Anlagen-Ersatzinvestition	8
5	Einflusskriterien auf eine Anlagen-Ersatzinvestitionsentscheidung	10
6	Schema zum Auswählen und Bewerten	14
7	Ausschnitt einer Auswahlliste	19
8	Aufbau einer Spritzgießmaschine	43



## Verzeichnis der Tabellen

<b>Tabelle</b>	<b>Name</b>	<b>Seite</b>
1	Beschreibung von Bewertungskorridoren in einer 10-Punkte-Skala	21
2	Schema der Angebotskalkulation in Industriebetrieben	28
3	Aufbau einer Auswahlliste für die Vorauswahl der Ersatzmaschinen	33
4	Vergleich der Maschinendaten	38
5	Aufbau der Entscheidungstabelle	39
6	Maschinenbedingte Ausfallzeiten	45
7	Auswahl der Ersatzalternative einer Spritzgießmaschine	47
8	Gegenüberstellung der quantitativen Kriterien	52
9	Auflistung der Aufwands- und Beschaffungskosten	54
10	Aufbau Argumentationstabelle zur Entscheidungshilfe bei einem Maschinenersatz	57
11	Bewertung der Entscheidungskriterien	63

## Verzeichnis der Formeln

<b>Formelnummer</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Seite</b>
(1)	Fertigungseinzelkosten	25
(2)	Auftragszeit	25
(3)	Fertigungsgemeinkostenzuschlagssatz	26

# 1 Einleitung

In produzierenden Unternehmen werden häufiger Anlagen-Ersatzinvestitionen durchgeführt. Dabei spielen Gründe wie beispielsweise Verschleiß, veraltete Technik, fehlende Arbeitssicherheit, Leistungsabfall oder die Umstellung der Produktion oft eine entscheidende Rolle. Die entscheidende Aufgabe besteht somit darin den optimalen Zeitpunkt für einen Anlagenersatz festzustellen.

Ziel der Arbeit wird es sein eine Methode zu erstellen, mithilfe derer ein Unternehmen für eine beliebige Maschine überprüfen kann, ob zum aktuell betrachteten Zeitpunkt ein Maschinenersatz sinnvoll ist. Diese Methode wird dem Anwender schrittweise vorgestellt. Das Ergebnis stellt dann ein Excel-Tool dar, in welches die vorher gesammelten Daten eingetragen werden und anhand dessen systematisch und für jeden nachvollziehbar der Entscheidungsprozess durchgeführt und am Ende eine Entscheidung getroffen werden kann. Der Anwender hat die Möglichkeit das vorhandene Excel-Tool zu verwenden oder mithilfe der schrittweise erklärten Methode analog zu arbeiten und sie individuell, je nach Maschinen- und Fertigungstyp anzupassen.

Es ist jedoch darauf zu achten, dass die Methode nur bei einem gleichartigen Nachfolger der Alt-Maschine anwendbar sein wird. Das heißt eine Umstellung von manueller zu automatisierter Fertigung oder eine Umstellung der Produktion wird nicht berücksichtigt, da eine solche Planung immer individuell durchgeführt werden muss. Für langjährige Produktionen, bei welchen im Laufe der Zeit die Überlegung ansteht eine Maschine durch eine technisch modernere oder leistungsstärkere Anlage auszutauschen, soll die Methode eine wesentliche Unterstützung darstellen.

Um zu diesem Ergebnis zu gelangen, wird in der hier vorliegenden Arbeit zunächst auf Vorbetrachtungen eingegangen, die bei der Überlegung einer Anlagen-Ersatzinvestition vorzunehmen sind. Dazu gehört es zunächst die Gründe für einen notwendigen Ersatz zu bestimmen. Des Weiteren wird in Punkt 2 dieser Arbeit auf die ganzheitlichen Gesichtspunkte eingegangen, die zu beachten sind, wenn die Frage nach einem Maschinenersatz im Raum steht. Da es sich hierbei um einen komplexen Entscheidungsprozess handelt, werden in Punkt 3 Methoden des Variantenvergleiches aufgezeigt, die dazu dienen einen strukturierten und systematischen Entscheidungsprozess durchzuführen. In Punkt 4 werden die Kosten, die im Zuge des Vergleiches der Alt-Maschine mit Alternativen betrachtet werden, behandelt. Aus den zusammengetragenen Grundla-

gen wird dann in Punkt 5 dieser Arbeit eine Methode zur Entscheidungsunterstützung bei geplanter Anlagen-Ersatzinvestition erstellt.

Diese Methode beinhaltet eine modifizierte Form einer Nutzwertanalyse. Daneben wird ein Teilkostenvergleich zwischen der Alt-Maschine und einer möglichen Ersatzalternative durchgeführt. Dazu werden ausgewählte Fertigungskosten der jeweiligen Anlagen gegenübergestellt. Neben dem Teilkostenvergleich werden zudem die Aufwandskosten, welche bei einem Austausch der Maschinen anfallen, kalkuliert und später in die Entscheidung mit einbezogen.

Zur Durchführung des Variantenvergleichs wird im Zuge des Methodenaufbaus ein Excel-Tool erstellt. Dieses wird dem Anwender eine Vorlage bieten, um den Entscheidungsprozess über einen Maschinenersatz unkompliziert durchführen zu können. Der Hauptteil der Methode wird eine Entscheidungs- bzw. Argumentationstabelle darstellen. Darin enthalten werden Entscheidungskriterien zusammengefasst, die sowohl monetäre Punkte aus dem Teilkostenvergleich und der Aufwandskostenkalkulation als auch nicht monetäre Aspekte berücksichtigen. Durch die Wichtung der einzelnen Kriterien sowie deren Bewertung werden am Ende die Nutzwerte für die zwei Varianten „Pro Maschinenersatz“ oder „Kontra Maschinenersatz“ berechnet, sodass ersichtlich wird ob es sinnvoller ist die Alt-Maschine zu behalten oder eine Anlagen-Ersatzinvestition durchzuführen.

Nachdem der Punkt 5 die Erstellung der Methode zur Entscheidungsunterstützung bei einem Maschinenersatz in einzelnen Schritten aufgezeigt hat, wird in Punkt 6 diese Methode anhand eines fiktiven Beispiels angewendet. Dabei werden analog die Schritte aus dem vorhergehenden Kapitel durchgeführt.

In dem Punkt „Zusammenfassung und Ausblick“ wird am Ende ein Rückblick auf die Problemstellung und deren Lösung gegeben. Weiterhin werden Variations- und Erweiterungsmöglichkeiten der Methode erörtert, sodass sie individuell und universell eingesetzt werden kann.

## 2 Vorbetrachtungen bei geplanter Anlagen-Ersatzinvestition

### 2.1 Gründe für einen Maschinenersatz

Die Notwendigkeit eines Maschinenersatzes lässt sich mithilfe der Betrachtung der Nutzungsdauer erörtern.

Der Definition aus dem Gabler Wirtschaftslexikon zufolge beschreibt die Nutzungsdauer die „...von den betriebsindividuellen Gegebenheiten abhängige Verwendungsdauer eines Anlagegutes...“ /GABL-04, S. 2191/. Vereinfacht nennt Götze in seinem Buch „Investitionsrechnung“ die Nutzungsdauer den Zeitraum „zwischen dem Beginn und dem Ende der Nutzung.“ /GÖTZ-14, S. 251/

Wann das Ende der Nutzung einer Anlage eintritt, kann durch verschiedene Einflüsse bestimmt werden. Daraus abgeleitet wird zwischen der rechtlichen, technischen, wirtschaftlichen und betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauer unterschieden. Bei der rechtlichen Nutzungsdauer spielen Verträge oder Lizenzen die entscheidende Rolle, bis zu welchem Zeitpunkt die Anlage genutzt werden darf und genutzt wird /GÖTZ-14/. Dies tritt beispielsweise auf, wenn ein Produkt nur für eine bestimmte Zeit produziert werden soll und das vertraglich geregelt wird. In einem solchen Fall müssen auch keine weiteren Entscheidungen zum optimalen Ersatzzeitpunkt mehr getroffen werden, da das Ende der Nutzung bereits fest steht. Es können lediglich Überlegungen stattfinden, ob die Maschine noch anderweitig genutzt oder aber verkauft werden kann. Voraussetzung dafür wäre jedoch, dass das Ende der technischen Nutzungsdauer noch nicht erreicht ist. Bei der technischen Nutzungsdauer handelt es sich um den „Zeitraum, in dem ein abnutzbarer Vermögensgegenstand (v.a. Maschinen, maschinelle Einrichtungen und Gebäude) technisch in der Lage ist, seinen Verwendungszweck zu erfüllen.“ /GABL-04, S. 2899/. Wenn also eine Maschine irreparabel defekt ist, dann ist die Nutzungsdauer beendet und ein Maschinenersatz sofort notwendig.

Durch Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen können Anlagen oft noch sehr lange weiter in Betrieb gehalten werden. Jedoch ist dies für Unternehmen häufig nicht mehr wirtschaftlich sinnvoll, weshalb die technische Nutzungsdauer nicht voll ausgeschöpft wird. An dieser Stelle kommt dann die wirtschaftliche Nutzungsdauer in Betracht. /GABL-04/

Bei der Überlegung, ob eine Maschine ersetzt oder weiterbetrieben werden soll, spielen die wirtschaftlichen Aspekte die größte Rolle. Für ein Unternehmen ist die wichtigste

Aufgabe einer Maschine Gewinn zu bringen. Sobald eine Anlage mehr Kosten verursacht als dass sie Nutzen bringt, arbeitet sie nicht mehr wirtschaftlich und sollte ersetzt werden. Die wirtschaftliche Nutzungsdauer ist also die Zeitspanne, „die zum gewinnmaximalen Einsatz einer Anlage im Unternehmen führt.“ /GABL-04, S. 3355/. Die wirtschaftliche Nutzungsdauer kann mit Methoden der Investitionsrechnung voraussichtlich abgeschätzt werden /GÖTZ-14/.

Diese voraussichtliche wirtschaftliche Nutzungsdauer wird auch als betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer bezeichnet und beschreibt auch den Abschreibungszeitraum von beweglichen Wirtschaftsgütern. Zur Orientierung existieren vom Bundesfinanzministerium Abschreibungstabellen für allgemein verwendbare Anlagegüter, auch AfA-Tabellen AV genannt. Darin sind je nach Branche universelle Anlagen aufgelistet mit ihren jeweiligen betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauern. Die Werte beruhen auf Erfahrungen und sind nicht auf spezifische Anlagen anzuwenden. /BMF-21/

Zur Lösung der Problemstellung werden vorwiegend die wirtschaftlichen Gründe beleuchtet. Rechtliche Gründe sowie ein Totalausfall machen einen Maschinenersatz von vornherein notwendig und es müssen keine Überlegungen mehr stattfinden ob er sinnvoll wäre oder nicht. Neben der Berechnung von Kosten der aktuellen Maschine sowie deren Alternative werden bei der Erstellung der Methode auch ganzheitliche Probleme und Kriterien, welche im Zusammenhang eines Maschinenersatzes relevant sind näher beleuchtet und helfen schlussendlich bei der Entscheidungsfindung. Welche Aspekte in den Entscheidungsprozess einfließen, wird in Punkt 2.2 erarbeitet.

## 2.2 Einflusskriterien auf eine Anlagen-Ersatzinvestitions-Entscheidung

Bei der Überlegung eine Maschine im Unternehmen zu ersetzen, spielen verschiedene Faktoren eine Rolle. Abbildung 1 zeigt die dafür wichtigsten Ausprägungen.

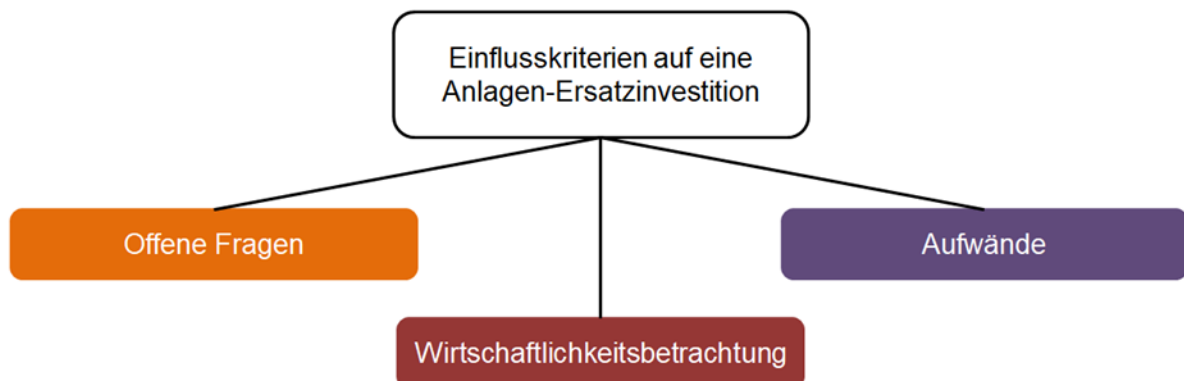


Abbildung 1: Einflusskriterien auf eine Anlagen-Ersatzinvestitionsentscheidung

### Offene Fragen

Bei der Betrachtung der sich aktuell in Betrieb befindlichen Maschine sind einige Fragen zu stellen und zu beantworten, wie auch in Abbildung 2 dargestellt wird. Dazu zählen:

- Ist die Alt-Maschine noch auf dem aktuellen technischen Stand? Wird sie es in den nächsten Jahren bleiben?
- Gibt es noch Ersatzteile für die Maschine? Wird es die nächsten Jahre noch Ersatzteile geben?
- Sind häufig Reparaturen notwendig?
- Könnten durch einen Maschinenersatz die Arbeitsbedingungen verbessert werden? (Aspekte der Ergonomie und Arbeitssicherheit)
- Werden die Kriterien bezüglich des Umweltschutzes eingehalten oder müssen Umrüstungen an der Alt-Maschine durchgeführt werden?
- Was geschieht mit der Alt-Maschine bei einem Ersatz? Wird sie verschrottet, anderweitig weiterverwendet oder dient sie als Ersatzteillieferant?
- Welche Alternativen stehen zur Verfügung? Welche davon ist am besten geeignet?
- Wie langfristig wird die Neuanschaffung einer Maschine sein?
- Wie wird die Zeit des Austauschs überbrückt?
- Ist eine neue Maschine mit der Software des Unternehmens kompatibel?



Abbildung 2: Offene Fragen bei der Überlegung einer Anlagen-Ersatzinvestition

Durch das Analysieren der Alt-Maschine bezüglich der hier aufgeführten Fragen kann bereits ein erster Eindruck geschaffen werden inwieweit ein Maschinenersatz in Frage kommt. Bei einer älteren Anlage steigt die Gefahr, dass es zu häufigeren Ausfällen aufgrund von Reparatur- und Wartungsarbeiten kommt. Eine neue Maschine ist zudem technisch auf einem neueren Stand, die Beschaffung von Ersatzteilen ist einfacher und die Leistung ist höher. Des Weiteren werden Umweltschutzkriterien bei neuen Anlagen von vornherein mehr berücksichtigt, ebenso die Ergonomie am Arbeitsplatz.

Wenn bei der Analyse der Alt-Maschine herausgefunden wird, dass es sinnvoll sein könnte einen Ersatz durchzuführen, wird eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung noch mehr Aufschluss bringen.

### Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

In die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung fließen sämtliche Kosten in Bezug auf die aktuelle Maschine ein, aber auch die der Ersatzalternativen (vgl. Abbildung 3). Durch einen Vergleich kann dann herausgefunden werden ob sich der Weiterbetrieb der Alt-Maschine lohnt oder ob die Kosten den Nutzen übersteigen und ein Ersatz notwendig ist. Für diese Betrachtung gibt es verschiedene Verfahren der Investitionsrechnung. In der Literatur wird zwischen den statischen und den dynamischen Verfahren unterschieden.

Die statischen Modelle bzw. Methoden betrachten einen bestimmten Zeitabschnitt oder eine bestimmte Periode und beziehen sich auf eine bestimmte Zielgröße. Aus diesem



Grund lassen sich die jeweiligen Methoden gemäß ihrer Zielgröße abgrenzen und werden untergliedert in /GÖTZ-14/:

- Kostenvergleichsrechnung
- Gewinnvergleichsrechnung
- Rentabilitätsvergleichsrechnung
- statische Amortisationsrechnung

Im Gegensatz zu den statischen Verfahren werden bei den dynamischen Verfahren mehrere Zeitperioden betrachtet. Ein weiteres Merkmal dieser Rechenverfahren ist, dass die Investitionsobjekte hinsichtlich ihrer über den betrachteten Zeitraum erwarteten Ein- und Auszahlungen charakterisiert werden. Beispiele für die dynamischen Verfahren sind: /GÖTZ-14/

- Kapitalwertmethode
- Annuitätenmethode
- Interner-Zinssatz-Methode
- Dynamische Amortisationsrechnung

Einen weiteren Gesichtspunkt hinsichtlich der zu betrachtenden Kosten stellen die Beschaffungskosten für eine neue Maschine dar (vgl. Abbildung 3). Diese bestehen aus dem Anschaffungspreis der neuen Maschine und den Anschaffungsnebenkosten /GÖTZ-14/. Die Anschaffungsnebenkosten setzen sich aus den Kosten zusammen, die sich aus den Aufwänden bei einer Ersatzanschaffung ergeben.

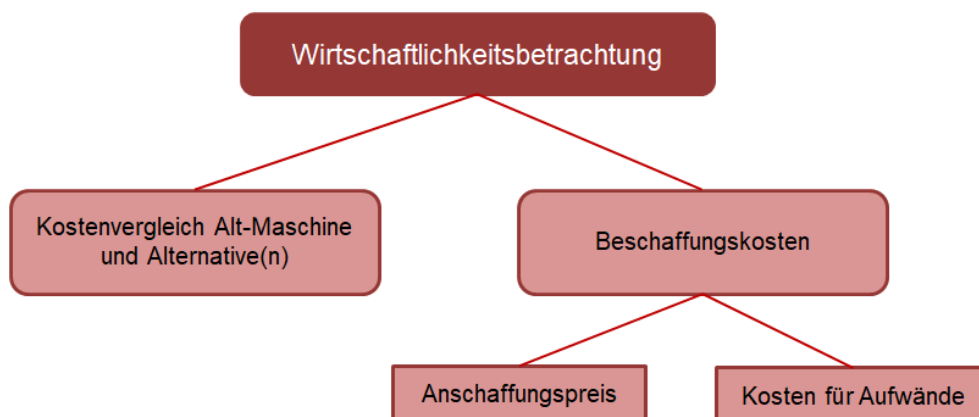


Abbildung 3: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bei der Überlegung einer Anlagen-Ersatzinvestition

## Aufwände

Die Aufwände spielen eine nicht unwesentliche Rolle bei der Überlegung eines Maschinenersatzes, denn sie verursachen ebenfalls Kosten und es muss abgewogen werden, ob der Nutzen der Neuanschaffung trotzdem höher liegt als der Aufwand. In Abbildung 4 werden die Aufwände zusammengefasst.

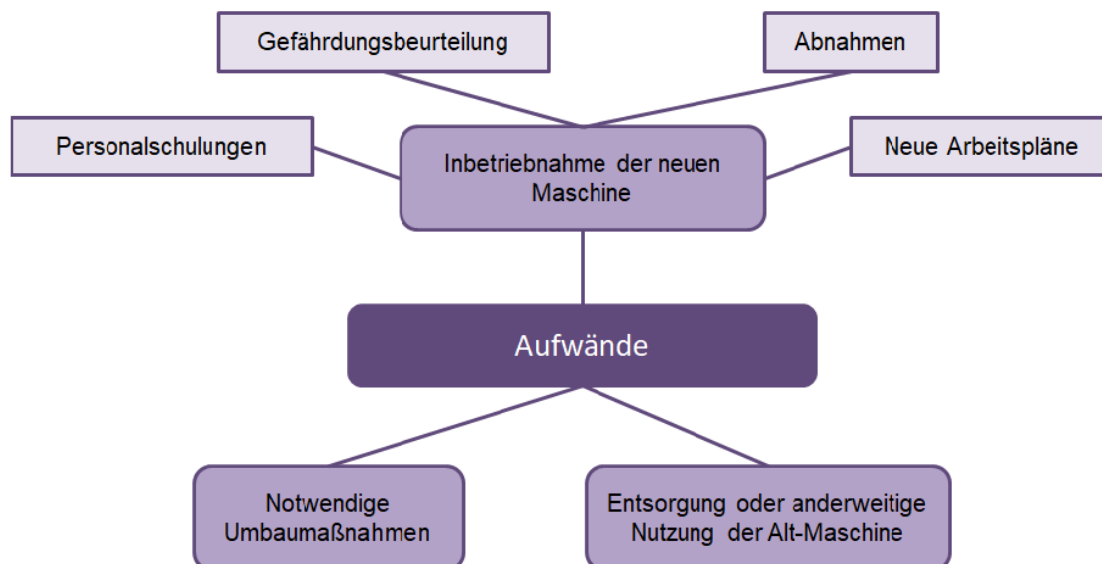


Abbildung 4: Aufwände bei geplanter Anlagen-Ersatzinvestition

Wie bereits im Punkt der offenen Fragen beschrieben, ist zu klären, wie mit der Alt-Maschine bei einem Maschinenersatz weiterverfahren wird. Parallel dazu muss abgeklärt werden mit welchen Umbaumaßnahmen und Arbeitsaufwänden ein Maschinenersatz einhergeht. So kann es beispielsweise notwendig sein, dass in der Werkhalle umgeräumt werden muss, damit die Maschinen ausgetauscht werden können. Des Weiteren kann es möglich sein, dass auch größere Umbauten vorgenommen werden müssen. Wenn die Maschinen zum Beispiel zu groß sind und nicht durch die Tore passen und eventuell sogar Teile von Wänden ab- und nach dem Tausch wieder aufgebaut werden müssen. Im Gegensatz dazu können auch die Maschinen abgebaut werden müssen, was ebenfalls einen hohen Aufwand verursacht. Weiterhin ist zu klären ob die neue Maschine den Platz der Alt-Maschine einnehmen wird oder vielleicht an einem neuen Ort stehen wird. Vielleicht wird aber auch die gesamte Produktion anders aufgestellt und die Werkhalle muss umstrukturiert werden. All diese Aspekte müssen von vornherein geplant werden sowie die Kosten dafür kalkuliert werden. Dabei kann es auch zu unterschieden kommen bei unterschiedlichen Ersatzalternativen, die zur Aus-

wahl stehen. Von daher ist es wichtig auch den Punkt der Umbauaufwände in die Entscheidung mit einzubeziehen.

Die Aufwände umfassen zum einen den Verbleib der Alt-Maschine, den Aufwand, der durch den Ersatz entsteht und nach dem Ersatz noch die Inbetriebnahme der neuen Maschine. Meistens wird vom Maschinenhersteller ein Mitarbeiter bereitgestellt, der beim Einrichten und in Betrieb nehmen unterstützt. Am Ende der Inbetriebnahme steht dann die Abnahme. Dabei geht die Gefahr vom Hersteller der Maschine auf den Kunden, also das Unternehmen über /§ 644 BGB/. Für Mängel, die nach der Abnahme auftreten, ist dann nicht mehr der Hersteller zur Verantwortung zu ziehen. Mit der Abnahme ist außerdem der Zeitpunkt der Vergütung erreicht /§ 641 BGB/. Im Zuge der Inbetriebnahme finden Tests statt, Installationen, die Einrichtung der Maschine und Anpassung an die geplante Produktion. Die Gefährdungsbeurteilung ist dabei essenziell, damit die Maschine in Betrieb gehen kann. Weiterhin muss die Arbeitsanweisung verfasst werden und das Bedienpersonal eingewiesen bzw. sogar geschult werden, da eine neue Maschine von einem anderen Typ auch neue Vorgehensweisen in der Bedienung haben wird. Des Weiteren müssen die Arbeitspläne angepasst werden.

Die erklärten Gesichtspunkte bilden die Grundlage bei der Erarbeitung einer Methode, welche als Entscheidungshilfe dienen kann. In Abbildung 5 werden diese noch einmal zusammenfassend auf einen Blick dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Aspekte zum einen eher zu diskutieren sind, zum anderen gilt es bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Berechnungen durchzuführen, die am Ende mit in die Entscheidung einfließen. Damit alle hier beschriebenen Gesichtspunkte bei dem Entscheidungsprozess berücksichtigt und beleuchtet werden, bietet es sich an einen Variantenvergleich durchzuführen. Methoden dazu werden in Punkt 3 beleuchtet.

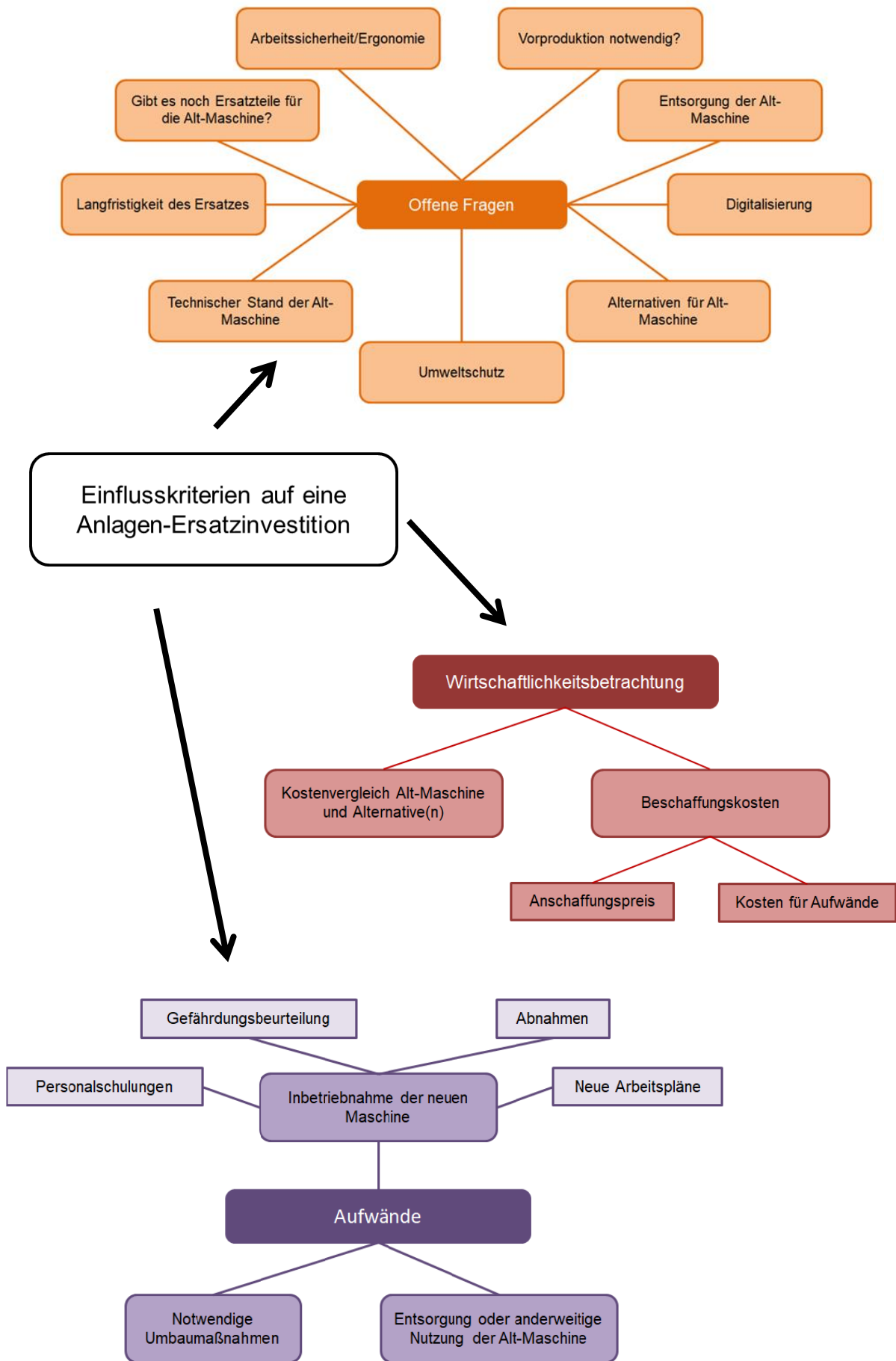


Abbildung 5: Einflusskriterien auf eine Anlagen-Ersatzinvestitionsentscheidung

### **3 Methoden des Variantenvergleichs**

#### **3.1 Entscheidungsprobleme**

Wie in Punkt 2.2 aufgezeigt, treten bei dem Prozess der Entscheidungsfindung häufig aufgrund der Komplexität des Themas Probleme auf, die im Folgenden in Anlehnung an /HERB-99/ charakterisiert werden:

##### Anzahl der Handlungsalternativen und Kriterien

Die Betrachtung ganzheitlicher Kriterien, um eine Entscheidung über einen bestimmten Sachverhalt treffen zu können, ist sehr komplex. Zum einen gibt es meist eine große Anzahl an Handlungsalternativen. Auf der anderen Seite müssen all diese Alternativen anhand von Kriterien bewertet und aussortiert werden. Da dieser Prozess nicht auf einen Blick durchgeführt werden kann, ist es wichtig die Alternativen und Kriterien zu strukturieren und mithilfe eines Variantenvergleichs systematisch durchzuarbeiten um zu einem Ergebnis zu gelangen.

##### Konflikte bei der Prioritätensetzung

Infolge der Festlegung von Kriterien, die eine Alternative erfüllen muss, kann es zu Zielkonflikten kommen. So kann zum Beispiel ein Kriterium das andere ausschließen, obwohl beide als wichtig empfunden werden. Aus diesem Grund müssen Prioritäten gesetzt werden, anhand von denen festgelegt wird, welche Kriterien eine höhere Wichtung für die Wahl einer Handlungsalternative haben.

##### Unsicherheiten

Weitere Probleme, welche im Zuge einer Entscheidungsfindung auftreten können, sind die Unsicherheiten der Handlungsalternativen. Ob eine Alternative ein Kriterium erfüllt oder nicht, beruht letztendlich auf Prognosen. Im schlimmsten Fall kann es sogar dazu kommen, dass sich eine getroffene Wahl im Nachhinein als Fehlentscheidung herausstellt.

## Quantitative und qualitative Kriterien

Entscheidungen können auf Grundlage verschiedenster Kriterien getroffen werden. Zu den quantitativen Kriterien zählen jene, die sich mit vergleichbaren Zahlen ausdrücken lassen, wie vor allem die monetären Kriterien. Häufig werden zum Beispiel bei Investitionsentscheidungen die Kosten der Alternativen miteinander verglichen. Aber auch andere Punkte wie Leistung, Kapazität oder Energieverbrauch beispielsweise bei Maschinen können anhand der Werte direkt miteinander verglichen werden. Dem gegenüber stehen die qualitativen Kriterien. Diese können nur schwer mit festen Zahlen ausgedrückt werden und sind für jeden Entscheidungsfall individuell zu diskutieren. So können zum Beispiel bei der Suche nach einer Ersatzmaschine Fragen auftreten über den Umbau der Produktionslinie, Umweltaspekte oder das weitere Verfahren mit der Alt-Maschine. Die Schwierigkeit bei der Komplexität der Entscheidungskriterien liegt darin, eine ganzheitliche und strukturierte Betrachtung durchzuführen.

## Mehrpersonenentscheidung

Entscheidungen im unternehmerischen Bereich werden nicht von einer Einzelperson getroffen. Von daher muss die Auswahl oder Nicht-Auswahl von Kriterien sowie deren Wichtigkeit argumentiert werden, damit sie für alle Beteiligten nachvollziehbar ist.

## **3.2 Der Entscheidungsprozess**

### Problemformulierung

Zu Beginn eines Entscheidungsprozesses besteht oder entsteht eine Situation, wodurch der Prozess angeregt bzw. ausgelöst wird. Denn eine Situation, die für ein Unternehmen nicht zufriedenstellend ist, zum Beispiel wenn eine Maschine ausfällt, muss verbessert werden, wozu Entscheidungen notwendig sind. Es sind jedoch nicht nur plötzlich auftretende Umstände, die die Notwendigkeit von Änderungen hervorrufen können. Häufig sind es auch Vermutungen, dass bestimmte Veränderungen zum Beispiel eine bessere Marktstellung des Unternehmens nach sich ziehen könnten. Wie auch immer ein Entscheidungsprozess angeregt wird, muss zu Beginn das Problem formuliert werden. Welche Entscheidung soll getroffen werden? Welches Problem soll behoben werden und welche Entscheidungen resultieren daraus? Bei dem Ausfall einer Maschine wäre eine mögliche Formulierung der Frage: Soll die Maschine repariert oder ersetzt

werden? Die Problemformulierung ist noch eine vorläufige Formulierung, die im weiteren Prozess präzisiert werden sollte. /LAUX-12/

### Präzisierung des Zielsystems

Durch die Problemformulierung und die damit gegebene grobe Richtung der Entscheidungsfindung beginnt bereits die Suche nach den Handlungsalternativen. Damit aber die Kriterien genauer definiert werden können, nach denen die Handlungsalternativen dann bewertet und schlussendlich ausgewählt werden, muss das Ziel des Entscheidungsprozesses präzise ausformuliert werden. Dieses dient dann auch als Bewertungsmaßstab, nachdem die am besten geeignete Alternative ausgewählt werden kann. /LAUX-12/

### Erforschung von Alternativen

Die Erforschung der Handlungsalternativen beginnt mit der Ermittlung der Restriktionen für mögliche Alternativen. Zunächst ist es wichtig festzulegen, welche Kriterien und Bedingungen eine Handlungsalternative erfüllen soll. Die Restriktionen sollen ebenfalls dazu dienen einen gewissen Rahmen um den Entscheidungsprozess zu ziehen, damit nicht Alternativen ausgewählt und gegenübergestellt werden, die nicht realisierbar sind. So ist es zum Beispiel sinnvoll die Finanzierungsmöglichkeiten und die rechtlichen Möglichkeiten vorher festzulegen. Dieser Schritt baut sich aus den vorhergehenden Schritten des Entscheidungsprozesses auf. Wenn bekannt ist welches Ziel verfolgt wird, können die Bedingungen diskutiert werden, nach denen dann die Alternativen ausgewählt werden um sie später zu vergleichen. /LAUX-12/

Wenn die Bedingungen, Kriterien und Restriktionen festliegen, kann nach Alternativen gesucht werden. In /LAUX-12/ wird davon geschrieben, dass Erfahrung und Kreativität die Grundlage bei der Suche von Alternativen bilden. Demnach hat ein Entscheider einen größeren Vorteil, wenn er bereits Erfahrung in der aktuellen Problematik besitzt. Damit ein breites Spektrum an Erfahrungen ausgeschöpft werden kann, ist es sinnvoll wenn mehrere Personen an dem Entscheidungsprozess beteiligt sind.

Wie schon unter Punkt 3.1, den Entscheidungsproblemen, erläutert, spielen beim Entscheidungsprozess Unsicherheiten eine große Rolle. Es ist aus diesem Grund von Bedeutung, diese zu berücksichtigen. Auch hier ist wieder die Erfahrung des oder der Ent-

scheider von großem Nutzen, denn die Konsequenzen der möglicherweise zu treffenden Entscheidungen müssen abgeschätzt werden. Zusätzlich können mithilfe von Informationsbeschaffung über bestimmte Sachverhalte Prognosen besser aufgestellt werden. /LAUX-12/

### Auswahl einer Alternative und Entscheidungen in der Realisationsphase

Für die Auswahl der geeignetsten Alternative gibt es verschiedene Methoden. Wenn eine Entscheidung getroffen wurde, wird diese während der Realisationsphase umgesetzt. Jedoch müssen auch hier weitere Entscheidungen getroffen werden, die im eigentlichen Entscheidungsprozess vielleicht noch nicht relevant waren oder die erst durch entstandene Probleme nach der Umsetzung nötig werden. Außerdem werden Entscheidungen über Details erst im Rahmen der Umsetzung getroffen, wenn die wirklichen Gegebenheiten ersichtlich sind. /LAUX-12/

### 3.3 Grundlagen zum Auswählen und Bewerten

Die Entscheidung über eine Handlungsalternative erfolgt durch die Aufstellung verschiedener Varianten, der Aussonderung anhand von Kriterien und schließlich der Bewertung der Varianten um zur geeignetsten Alternative zu gelangen. Der gesamte Vergleich bzw. die Beurteilung der Handlungsalternativen kann in zwei Bereiche untergliedert werden, dem Auswählen und dem Bewerten /HERB-99, MEIER-02/. In Abbildung 6 werden diese verdeutlicht.

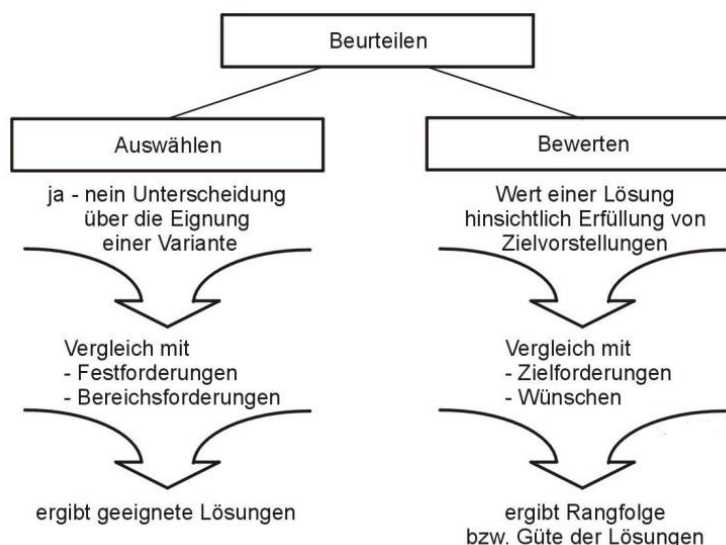


Abbildung 6: Schema zum Auswählen und Bewerten /MEIER-02, S. 4/



Beim Auswählen werden die Handlungsalternativen mithilfe von Fest- und Bereichsanforderungen ausgesondert. Jede Alternative, die die erforderlichen Kriterien nicht erfüllt, scheidet sofort aus. Dabei handelt es sich um kurze Ja-/Nein-Entscheidungen, bei denen alle ungeeigneten Varianten durchfallen. Das Auswählen basiert nicht auf der Bewertung oder dem Vergleich der Varianten untereinander. Es wird lediglich geprüft ob die Festanforderungen erfüllt werden oder nicht. Der Prozess des Auswählens sollte als erstes durchgeführt werden um den oft großen Bereich der Handlungsmöglichkeiten einzugrenzen. /MEIER-02/

Beispiele für Auswahlmethoden sind /HERB-99/:

- Auswahlliste
- Checkliste
- Polarprofil
- Polaritätsprofil

Die nach dem Auswahlprozess übrig gebliebenen Handlungsalternativen werden im nächsten Schritt bewertet. Dabei werden die möglichen Lösungen mit den Zielvorstellungen verglichen, inwieweit diese erfüllt werden. Des Weiteren wird der Grad des Nutzens einer Variante gegenüber den anderen Varianten festgelegt. Das Ziel des Bewertungsprozesses ist somit eine Rangfolge der vorhandenen Handlungsalternativen, die die Güte dieser in Hinblick auf die Zielforderungen darstellt, damit am Ende die am besten geeignete Variante ausgewählt werden kann. /MEIER-02/

Bereits in Punkt 3.1 erläutert, können die Kriterien, nach denen Entscheidungen getroffen werden, in quantitativ und qualitativ untergliedert werden. Die quantitativen Kriterien lassen sich beispielsweise durch Kostenrechnungen vergleichen und untereinander abwägen (vgl. 2.2, Wirtschaftlichkeitsbetrachtung). Für die qualitativen Kriterien werden die Bewertungsmethoden in intuitive, dialektische und formalisierte Bewertungsmethoden eingeteilt /HERB-99, MEIER-02/.

### Intuitive Bewertungsmethoden

Wie die Bezeichnung bereits ausdrückt, beziehen sich intuitive Bewertungsmethoden auf den Gesamteindruck einer Variante, die eine bewertende Person von ihr hat. Der Entscheider wägt intuitiv und spontan die Varianten anhand von Bewertungskriterien

ab, mithilfe derer er eine Rangordnung der Varianten aufstellt. Die Entscheidungen beruhen häufig auf Erfahrungen und subjektiven Einschätzungen. /HERB-99/

Intuitive Bewertungsmethoden sind /HERB-99/:

- Klasseneinstufung
- Punktevergabe
- Rangplatzvergabe
- Paarvergleich/Paarvergleichsmatrix

### Dialektische Bewertungsmethoden

Bei den dialektischen Bewertungsmethoden werden für die einzelnen Handlungsalternativen bzw. Varianten die Vor- und Nachteile gegeneinander abgewogen um zu einem differenzierten Meinungsbild und somit zu einer Entscheidung für die geeignetste Variante zu gelangen /HERB-99; WINTER-14/.

Beispiele für dialektische Bewertungsmethoden sind /HERB-99/:

- Pro-Contra-Methode
- Anwaltsverfahren
- Bewertungsdiskussion

### Formalisierte Bewertungsmethoden

Die formalisierten Bewertungsmethoden zeichnen sich dadurch aus, dass die unterschiedlichen Wirkungen jedes Betrachtungsgegenstandes zu einer Gesamtentscheidungsgröße aggregiert werden und somit einen höheren Grad der Quantifizierung und Berechnung aufweisen als die intuitiven und dialektischen Methoden /KNESE-19, S. 39/. Das heißt die einzelnen Kriterien einer Handlungsalternative werden objektiv bewertet und beispielsweise mit einer Punktzahl versehen, woraus sich am Ende eine Gesamtpunktzahl ergibt. Dadurch kann dann im Vergleich mit den anderen Varianten eine Entscheidung für die geeignetste Variante getroffen werden. Verfahren der formalisierten Methoden sind zum Beispiel die Nutzwertanalyse oder der gewichtete Paarvergleich.

### 3.4 Gewählte Methode zur Entscheidungsunterstützung

Die in dieser Diplomarbeit zu erarbeitende Methode zur Entscheidung über einen Maschinenersatz zielt auf zwei Entscheidungsmöglichkeiten ab:

1. Die Maschine wird ersetzt.
2. Die Maschine wird weiterbetrieben.

In diesen Entscheidungsprozess fließen sowohl quantitative Kriterien in Form von Kosten, als auch qualitative Kriterien ein, welche es zu diskutieren gilt.

Intuitive Methoden sind dabei auszuschließen, da sie subjektiven und individuellen Einschätzungen der Entscheider zugrunde liegen. Durch die Komplexität des Themas und der Menge an Kriterien ist es daher nicht geeignet nur Erfahrungen oder Gefühle entscheiden zu lassen. Die dialektischen Methoden setzen sich faktenbasierter mit einem Thema auseinander, denn es werden Argumente für die Pro- und Kontraseite gesammelt. Speziell für den Maschinenersatz könnten so Argumente gegenübergestellt werden, die für den Ersatz der aktuellen Maschine sprechen sowie dagegen. Ein Nachteil liegt jedoch darin, dass nicht automatisch eine der beiden Seiten die bevorzugte ist, wenn die Argumente überwiegen. Zum Beispiel könnten mehr Argumente dafür sprechen die aktuelle Maschine nicht zu ersetzen, auf der anderen Seite sind aber die wenigen Pro-Argumente höher zu bewerten. Dieses Problem bei der Entscheidungsfindung wird durch die formalisierten Bewertungsmethoden aufgegriffen, denn hier werden die einzelnen Kriterien gewichtet. Die gewählte Methode ist die Nutzwertanalyse, welche im Folgenden näher erläutert wird:

Die Nutzwertanalyse ist besonders für Entscheidungen geeignet, die sowohl monetäre, als auch nicht monetäre Kriterien beinhaltet /KÜHN-21/. In /KÜHN-21, S. 6/ heißt es weiterhin: „Sie (die Nutzwertanalyse) sorgt dafür, dass alle Aspekte einer Entscheidung, auch jene, die nicht gezählt, gemessen oder gewogen werden können, bewertet werden und mittels eines Transformationsprozesses in einen Score einfließen – einen Nutzwert.“

Die Durchführung einer Nutzwertanalyse läuft in mehreren Schritten ab /KÜHN-21/:

### Schritt 1: Organisation des Arbeitsumfelds und Planung

Da es sich bei der Entscheidung über einen Maschinenersatz um eine Mehrpersonenentscheidung handelt, ist zunächst der Teilnehmerkreis festzulegen. Des Weiteren wird ein Projektleiter bzw. Moderator bestimmt, der die Gruppe durch den gesamten Entscheidungsprozess führt. Zur Planung des Ablaufes gehört es Termine für Meetings festzulegen sowie die einzelnen Schritte der Durchführung der Nutzwertanalyse zu terminieren sowie Aufgaben an die Teilnehmer zu verteilen.

### Schritt 2: Beschreibung des Ziels und des Entscheidungsproblems

Die Schritte der Nutzwertanalyse orientieren sich stark an denen des allgemeinen Entscheidungsprozesses. So wird bereits in Punkt 3.2 beschrieben was die Problem- sowie die Zielformulierung beinhaltet. Zunächst wird erörtert welches Problem vorliegt, wodurch die Situation, in der eine Entscheidung getroffen werden muss, entsteht. Außerdem wird in diesem Schritt festgelegt welches Ziel mit der zu treffenden Entscheidung verfolgt wird und inwiefern die Nutzwertanalyse dazu dienen kann.

### Schritt 3: Auswahl der Entscheidungsalternativen

Dieser Schritt dient dazu mögliche Entscheidungsalternativen auszusondern, damit am Ende der Nutzwertanalyse eine übersichtliche Anzahl an Alternativen aufgezeigt wird. Die gewählte Methode für das Auswählen/Aussondern der Alternativmaschinen ist die Auswahlliste. Sie stellt eine Methode dar, bei der die Handlungsalternativen auf die Erfüllung von den vorher festgelegten Festanforderungen überprüft und dann entweder ausgewählt werden oder ausscheiden (vgl. Punkt 3.3). Zur Durchführung dieser Methode dient ein Formblatt, das beispielhaft in Abbildung 7 dargestellt wird. Das Formblatt der Auswahlliste besteht aus einer Kopfzeile, in der Daten zum Bearbeiter und dem Projekt eingetragen werden können. Die linke Spalte beinhaltet die Auflistung der Lösungen. Diese werden durch Nummern gekennzeichnet. Im Hauptteil der Liste befinden sich die Auswahlkriterien, die mit kurzen Stichpunkten erläutert werden. Zur Vereinfachung und Übersichtlichkeit werden den Kriterien Buchstaben zugeordnet. Weiterhin

wird für jede Lösung eine Zeile für Bemerkungen angeboten. Für die Überprüfung der Lösungen auf die Erfüllung der Kriterien, werden Symbole eingetragen. Dabei steht das „+“ für „Ja, das Kriterium wird erfüllt“, das „-“ für „Das Kriterium wird nicht erfüllt“, das „?“ soll den Informationsmangel ausdrücken und das „!“ noch bestehende Widersprüche. Die letzte Spalte dient dann letztendlich zum Eintragen der getroffenen Entscheidung. Auch hier werden wieder die Symbole „+“, „-“ für Auswahl oder Ausschied verwendet. Das „?“ bedeutet, dass erst noch weitere Informationen beschafft werden müssen um eine Entscheidung treffen zu können und das „!“ heißt ebenfalls eine weitere Überprüfung, denn es können evtl. noch Änderungen auftreten.

TH Darmstadt Maschinenelemente und Konstruktionslehre Prof. Dr.-Ing. Pahl		Auswahlliste für <b>Prüfstand - Walze</b>					Blatt: 1	Seite: 1	
Lösungsvarianten (Lv) nach <u>AUSWAHLKITERIEN</u> beurteilen: (+) ja (-) nein (?) Informationsmangel (!) Anforderungsliste überprüfen Verträglichkeit gegeben Forderungen der Anforderungsliste erfüllt Grundsätzlich realisierbar Aufwand zulässig Unmittelbare Sicherheitstechnik gegeben Im eigenen Bereich bevorzugt							<b>ENTSCHEIDEN</b> Lösungsvarianten (Lv) kennzeichnen: (+) Lösung weiter verfolgen (-) Lösung scheidet aus (?) Information beschaffen (Lösung erneut beurteilen) (!) Anforderungsliste auf Änderung prüfen		
Lv	A	B	C	D	E	F	G	Bemerkungen (Hinweise, Begründungen)	
A1	1	+	-					Schalenwechsel, Klappern der Lager	-
A2	2	+	-					Schalenwechsel, zu viel Spiel	-
A3	3	+	+	+	+			Sinusverlauf nur angenähert, Fehler < 1%	+
A4	4	+	+	+	-			Fertigungsaufwand hoch	-
A5	5	+	+	+	-			Aufwand insgesamt zu hoch	-
B1	6	+	-					Einstellbarkeit nicht oder nur mit Aufwand	-
B2	7	+	-					Einstellbarkeit nicht gegeben	-

Abbildung 7: Ausschnitt einer Auswahlliste /PAHL-05, S. 234/

Die Auswahlliste ist einer Checkliste ähnlich, hat aber den Vorteil, dass alle Varianten auf einem Formblatt erfasst werden. Eine Checkliste kann immer nur für eine Variante ausgefüllt werden /HERB-99/. Die Auswahlliste wird ebenfalls Werteprofilen bevorzugt. Der Grund dafür liegt in der Einfachheit der Umsetzung. Zwar dienen Werteprofile durch die graphische Darstellung der Erfüllung der Kriterien zur Veranschaulichung, jedoch bedeutet es etwas mehr Aufwand die Kriterien in eine Bewertungsskala einzuordnen

und dies dann graphisch auszuwerten. Außerdem können Werteprofile bei einer Vielzahl von Kriterien sowie mehreren Alternativen unübersichtlich werden. /HERB-99, MEIER-02/

Da in diesem Fall aber nur schnell entschieden werden soll welche Alternativen später näher betrachtet werden, ist eine einfache und schnell umzusetzende Möglichkeit des Auswählens vorzuziehen.

#### Schritt 4: Bestimmung der Entscheidungskriterien

Die qualitativen bzw. nicht monetären Entscheidungskriterien können anhand von Brainstorming mittels einer Mind-Map gefunden werden (siehe Punkt 2.2). Innerhalb der für den Entscheidungsprozess festgelegten Gruppe besteht zusätzlich noch die Möglichkeit der Diskussion der Kriterien um die auswählen zu können, die für die Entscheidungsfindung nützlich sind. Die monetären Kriterien bestehen aus Ergebnissen von Berechnungen, die dann später mit in die Analyse aufgenommen und miteinander verglichen sowie bewertet werden können.

#### Schritt 5: Gewichtung der Entscheidungskriterien

Die Gewichtung der Entscheidungskriterien basiert auf subjektiven Einschätzungen der Teilnehmer. Sie wird in den meisten Fällen in Prozent angegeben. Die Summe der Einzelwichtungen der Kriterien muss am Ende 100% betragen. Dies hat zur Folge, dass bei einer großen Anzahl an Kriterien die Wichtung jedes einzelnen Kriteriums kleiner wird und Unterschiede zwischen den Kriterien weniger deutlich werden. Aus diesem Grund ist darauf zu achten nicht zu viele Kriterien in die Nutzwertanalyse aufzunehmen. Bei der Vorgehensweise der Wichtung gibt es zwei Möglichkeiten. Zum einen kann jeder Teilnehmer des Entscheidungsteams individuell und subjektiv die Wichtungen auf die Kriterien verteilen. Am Ende wird ein Mittelwert der Teilnehmer gebildet. Zum anderen besteht die Möglichkeit in einer Gruppendiskussion, die vom Projektleiter angeführt wird, gemeinsam die Wichtungen festzulegen.

## Schritt 6: Skalen und Bewertungsvorschriften

Nachdem die Kriterien gewichtet wurden, werden sie im nächsten Schritt bewertet. Dazu ist eine Bewertungsvorschrift notwendig. Mithilfe der Bewertung wird ermittelt inwieweit ein Kriterium erfüllt wird. Die Skalen können unterschiedlich differenziert sein. Wichtig ist, dass für die Teilnehmer der Nutzwertanalyse eine unkomplizierte Bewertung der Kriterien möglich ist. Denn durch eine zu detaillierte Skala kann es bei subjektiven Bewertungen zu Entscheidungsproblemen kommen. Einfache Skalen sind zum Beispiel eine 10er, 5er oder sogar eine 3er-Skala. Dabei werden in einer Legende die Skalenergebnisse beschrieben, wie die folgende Abbildung beispielhaft zeigt.

Tabelle 1: Beschreibung von Bewertungskorridoren in einer 10-Punkte-Skala /KÜHN-21, S. 72/

Punkte	Beschreibung
0	Kriterium ist nicht erfüllt
1 bis 3	Kriterium ist unzureichend und nur mit erheblichen Mängeln erfüllt
4 bis 6	Kriterium ist hinreichend, aber mit Mängeln erfüllt
7 bis 9	Kriterium ist in gutem Umfang erfüllt
10	Kriterium ist in sehr gutem Umfang erfüllt

Weiterhin besteht die Möglichkeit die Bewertung auf der Grundlage von Schulnoten durchzuführen. Hier bedeutet dann die Note 1 die bestmögliche Erfüllung des Kriteriums und die Note 6 bedeutet das Kriterium wurde nicht erfüllt. Da am Ende jedoch der höchste Nutzwert entscheidend ist, müssen den Schulnoten Rechenwerte zugeordnet werden. Dann bekommt die Note 1 den höchsten Wert und die Note 6 den niedrigsten. /KÜHN-21/

## Schritt 7: Bewertung der Entscheidungskriterien

In diesem Schritt kommt es zur eigentlichen Bewertung der Kriterien. Dies kann jeder Teilnehmer für sich allein tun oder die Gruppe diskutiert und bewertet dann gemeinsam. Hilfreich ist es, wenn die Wichtung der einzelnen Kriterien bei der Bewertung nicht sichtbar ist, damit jedes Kriterium gleich betrachtet wird und nicht unwichtigere Punkte nur oberflächlich beleuchtet werden. Bei individueller Bewertung wird zum Schluss der Durchschnittswert gebildet. /KÜHN-21/

### Schritt 8: Berechnung des Nutzwertes

Der Nutzwert wird berechnet, indem zuerst die Wichtung des Kriteriums mit der Bewertung, also den vergebenen Punkten, multipliziert wird. So erhält man den Score eines jeden Kriteriums. Durch Addition der Scores erhält man dann den Nutzwert der Alternative. Die beste oder geeignetste Alternative ist dann laut dieser Berechnung die mit dem höchsten Nutzwert. Wenn jeder Teilnehmer der Nutzwertanalyse individuell bewertet hat, gibt es mehrere Möglichkeiten den Nutzwert zu bestimmen. Eine davon ist die Addition der Nutzwerte einer Alternative eines jeden Teilnehmers. Des Weiteren ist es möglich den Durchschnittswert der Nutzwerte der Teilnehmer zu bilden.

### Schritt 9: Sensitivitätsanalyse

Unter der Sensitivitätsanalyse wird verstanden, die Ergebnisse der Nutzwertanalyse auf ihre Robustheit zu überprüfen. Das heißt Veränderungen der Parameter können sich in der Veränderung des Ergebnisses äußern. Je eher sich ein Ergebnis beeinflussen lässt, desto weniger robust ist es, wodurch wiederum auch die Entscheidung für eine Alternative sich noch einmal ändern kann. Auf der anderen Seite kann eine Sensitivitätsanalyse das vorher ermittelte Ergebnis bestätigen. Bei der Analyse werden in einzelnen Schritten die Parameter verändert. Dabei ist zu beachten, dass pro Schritt nur ein Parameter geändert wird und alle anderen gleich bleiben. So lässt sich im Fall der Beeinflussung des Endergebnisses die Ursache feststellen. Es gibt mehrere Möglichkeiten um die Parameter zu ändern. Zum einen können die Wichtungen der Kriterien modifiziert werden. Dies geschieht entweder durch die Gleichsetzung aller Wichtungen, durch die Glättung der Wichtungsspitzen oder durch die Spreizung der Wichtungen. Bei der Gleichsetzung wird das Ereignis angenommen, dass jedes Kriterium gleich wichtig ist. Die Glättung der Gewichtungsspitzen wird erreicht, indem die Durchschnittswerte der höchsten Wichtungen und die der niedrigsten Wichtungen ermittelt werden. Bei der Spreizung wird das Gegenteil modelliert. Hier werden die wichtigsten Kriterien noch höher gewichtet und die am unwichtigsten bekommen eine noch niedrigere Wichtung. Zum anderen besteht in einem weiteren Analyseschritt die Möglichkeit die Bewertungen der Kriterien zu verändern. Dabei kann beispielsweise eine optimistische und eine pessimistische Bewertung simuliert werden. /KÜHN-21/



## 4 Relevante Kosten zum Vergleich der Alt-Maschine mit Alternativen

### 4.1 Fertigungskosten

Die quantitativen Kriterien im Rahmen des Variantenvergleiches beziehen sich auf die Fertigungskosten von Alt-Maschine und Alternativen. Durch den Vergleich der Maschinen anhand dieser Kosten wird ersichtlich, ob es wesentliche Vorteile bringt die aktuelle Anlage durch eine neue zu ersetzen.

#### Definition

Die Fertigungskosten zählen neben den Materialkosten zu den Herstellkosten eines Produktes /SCHLINK-17/. Während die Materialkosten unabhängig von der Anlage sind, beziehen sich die Fertigungskosten auf die Maschine. Es sind die Kosten, die zur Erstellung eines Produktes anfallen /GABL-04/.

Die Fertigungskosten ergeben sich aus /SCHLINK-17/:

- Fertigungseinzelkosten (FEK)
- Fertigungsgemeinkosten (FGK)
- Sondereinzelkosten der Fertigung (SoFEK)

#### Fertigungseinzelkosten

Bei den Fertigungseinzelkosten handelt es sich um jene Kosten, die bei der Herstellung eines Produktes anfallen und diesem direkt zugeordnet werden können /GABL-04; HAUFE-20/.

Sie setzen sich zusammen aus den Fertigungslöhnen und den Maschinenkosten. Die Fertigungslöhne ergeben sich dabei aus den Stundenlöhnen der Mitarbeiter und der Fertigungszeit. Ähnlich ist es bei den Maschinenkosten. Hier werden Kosten für die Maschine mit der Maschinenlaufzeit verrechnet. /HAUFE-20/

Die Kosten für die Maschine bestehen aus /HAUFE-20/:

- Personalkosten für Bedienung
- Energiekosten Maschine
- Wartungs- und Reparaturkosten
- Hilfsmaterialien

- Abschreibungen

Energiekosten ergeben sich aus dem Stromverbrauch der Maschine, den Energiekosten und der Maschinenlaufzeit. Die Wartungs- und Reparaturkosten lassen sich über den Bereich der Instandhaltung in Erfahrung bringen. Die Instandhaltungskosten sind gemäß dem Wirtschaftslexikon Gabler „Kosten zur Erhaltung der Betriebsanlage in einsetzfähigem Zustand.“ /GABL-04, S. 1514/. Es sind also Kosten, die für die Inspektion, Wartung und Reparatur einer Anlage anfallen. Sie beinhalten sowohl die Lohnkosten der Mitarbeiter der Instandhaltung als auch den Einsatz sämtlicher Arbeitsmittel und Maßnahmen. Die Instandhaltung kann entweder extern oder intern erfolgen.

Abschreibungen erfassen die im Laufe der Nutzung auftretenden Wertminderungen eines abnutzbaren oder nicht abnutzbaren Vermögensgegenstandes /GABL-04/. Dabei sind nicht abnutzbare Vermögensgegenstände beispielsweise Grundstücke. Die abnutzbaren sind im Gegensatz dazu Gebäude, Werkzeuge oder Maschinen. /FRIEDL-10/

Unterschieden wird bei den Abschreibungen zwischen den bilanziellen und kalkulatorischen Abschreibungen. Die bilanziellen Abschreibungen gehören zum externen Rechnungswesen und erfassen die Wertminderung des Anlagevermögens im Rahmen des Jahresabschlusses. Sie unterliegen handels- und steuerrechtlichen Vorschriften und beeinflussen die Bilanz und den Gewinn sowie die Besteuerung des Unternehmens. /FRIEDL-10; BWL-22/.

Bei den bilanziellen Abschreibung werden die Anschaffungs- und Herstellungskosten als Ausgangswert genommen und auf die Perioden der Nutzungsdauer des Anlagevermögens verteilt /FRIEDL-10/. Zur Orientierung der Unternehmen, wie lang der Abschreibungszeitraum gewählt werden soll, steht in den bereits erwähnten sogenannten AfA-Tabellen AV des Bundesfinanzministeriums (vgl. Punkt 2.1).

Im Gegensatz dazu zählen die kalkulatorischen Abschreibungen zu dem internen Rechnungswesen eines Unternehmens. In /FRIEDL-10; S.98/ werden sie definiert als „die in der Kostenartenrechnung erfasste planmäßig, vorhersehbar, periodische Wertminderung abnutzbarer Anlagegüter, die laufend dem Sachziel der Unternehmung dienen.“

Außerdem dienen sie zur verursachungsgerechten und realistischen Erfassung des Wertverzehr und spielen bei der Preisbildung des Vermögensgegenstandes eine wichtige Rolle /BWL-22/. Das heißt bei der Betrachtung einer Anlage und ihren Kosten

sind die kalkulatorischen Abschreibungen mit einzubeziehen. Die Berechnungsgrundlage bildet in diesem Fall dann der durchschnittliche Wiederbeschaffungspreis der Abrechnungsperiode /FRIEDL-10/.

Aus den Komponenten lässt sich dann die Formel zur Berechnung der Fertigungseinzelkosten aufstellen /HAUFE-20/:

Fertigungseinzelkosten

$$\begin{aligned} &= \text{Fertigungszeit} \cdot \text{Lohnkosten pro Zeiteinheit} \\ &+ \text{Maschinenlaufzeit} \cdot \text{Maschinenkosten pro Zeiteinheit} \end{aligned} \quad (1)$$

Die Zeiten für die Fertigung eines Auftrages lassen sich aus dem Arbeitsplan entnehmen. Laut der Definition ist der Arbeitsplan eine „Aufstellung mit Informationen über die Art, die technologische Reihenfolge der Aktionen eines jeden Auftrages/Teilauftrages, deren Zeitbedarf (...) und die Art der benötigten Kapazitäten (Maschinen, Werkzeuge, Arbeitskräfte).“ /GABL-04, S. 181/.

Die wichtigsten Zeiten dafür sind zum einen die Rüstzeit  $t_r$  und zum anderen die Zeit je Einheit  $t_e$ . Die Rüstzeit umfasst die notwendige Zeit um ein Arbeitssystem auf den Einsatz vorzubereiten und nach der Anwendung wieder in den ursprünglichen Zustand zurückzusetzen /GABL-04/. Die Zeit je Einheit „beschreibt die Ausführungszeit für ein Stück“ /WIEN-20, S. 193/.

Aus diesen Zeiten lässt sich die Auftragszeit  $T_a$  mit folgender Formel ermitteln:

$$T_a = t_r + m \cdot t_e \quad (2)$$

Das  $m$  steht dabei für die Stückzahl. /WIEN-20/

Darüber hinaus kann eine Vorgangsdauer auch durch den Prozess bestimmt werden, so zum Beispiel bei einer Wärmebehandlung. Diese Zeit nennt man Belegungszeit. Die Zeitangaben werden meist in der Einheit Minuten angegeben. /WIEN-20/.

Wichtig ist es zu beachten, dass Aufträge häufig mehrstufig bearbeitet werden, das heißt sie laufen in mehreren Fertigungsstufen auf unterschiedlichen Maschinen ab. Im Arbeitsplan sind diese enthalten. Von daher ist darauf zu achten nur Daten (Zeiten) zu entnehmen, die für die zu betrachtende Maschine stehen. Durch die mehrstufige Ferti-

gung, die auf unterschiedlichen Arbeitsplätzen oder Arbeitsplatzgruppen durchgeführt werden können, gibt es auch Unterschiede in den Entgeltgruppen der Werker, welche im Arbeitsplan ebenfalls erfasst werden. Dadurch dient er auch als Grundlage zur Ermittlung der Lohnkosten für die Mitarbeiter. /WIEN-20/

### Fertigungsgemeinkosten

Die Fertigungsgemeinkosten sind einem Kostenträger, also dem Produkt nicht direkt zuzuordnen /GABL-04/. Das heißt es sind allgemeine Kosten, die gleichzeitig auch für andere Erzeugnisse in einem Betrieb anfallen. Um die Fertigungsgemeinkosten auf den einzelnen Kostenträger herunterbrechen zu können, wird ein Fertigungsgemeinkostenzuschlag ermittelt, welcher dann auf die Fertigungseinzelkosten eines Produktes aufgerechnet wird /HAUFE-20; SCHLINK-17/.

Der Gemeinkostenzuschlagssatz beschreibt das Verhältnis zwischen den Fertigungsgemein- und - einzelkosten. Er berechnet sich anhand folgender Formel /FRIEDL-10/:

$$\text{Fertigungsgemeinkostenzuschlagssatz} = \frac{\text{Fertigungsgemeinkosten}}{\text{Fertigungseinzelkosten}} \quad (3)$$

Beispiele für die Fertigungsgemeinkosten sind /SCHLINK-17/:

- Kosten für Betriebsmittel
- Hilfslöhne
- Energiekosten (Betrieb der Werkhalle)
- Mietkosten
- Versicherungskosten

Bei den Betriebsmitteln handelt es sich um materielle und immaterielle Güter, die für die Produktion erforderlich sind und ihr Leistungspotenzial an die Produkte weitergeben. Sie werden deshalb auch Potenzialfaktoren genannt und dienen einem Unternehmen mittel- bis langfristig. Beispiele für Betriebsmittel materieller Art sind Gebäude, Werkzeuge, Vorrichtungen, auch Maschinen. Immaterielle Betriebsmittel können Patente und Software sein. /GABL-04; WANNE-10/

Zu den Fertigungsgemeinkosten zählen Betriebsmittel, wenn sie in der gesamten Fertigung eingesetzt werden und nicht für jede Maschine oder jedes Produkt individuell berechnet werden.

Die Punkte Energiekosten und Mietkosten für die Werkhalle und Versicherungskosten sind auch allgemein zu sehen und sind nicht produkt- oder auftragsspezifisch. Zu den Energiekosten zählen vor allem Heizung und Beleuchtung. Die Mietkosten betreffen die gesamte Werkhalle sowie die allgemeinen Versicherungen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Fertigungsgemeinkosten allgemeine, den gesamten fertigenden Bereich betreffende Kosten sind.

### Sondereinzelkosten der Fertigung

Diese Kosten können einem bestimmten Auftrag zugeordnet werden /SCHLINK-17/. Da häufig die Fertigungen individuell an Kundenwünsche angepasst werden, fallen Kosten an, die von den regulären allgemeinen Kosten klar abzugrenzen sind.

Zu den Sondereinzelkosten der Fertigung zählen /FRIEDL-10/:

- Kosten für Modelle, Schablonen, Geräte, Werkzeuge und andere Sonderbetriebsmittel
- Lizenzgebühren, Montagekosten
- Kosten für Spezialanfertigung nach Vorschrift des Auftraggebers
- Forschungs-, Entwurfs-, und sonstige Versuchskosten

Die Sondereinzelkosten der Fertigung beinhalten zwar ebenfalls Kosten für Betriebsmittel, jedoch handelt es sich hierbei um beispielsweise Werkzeuge, die alleinig für die Herstellung eines bestimmten Produktes eingesetzt werden, das speziellen Kundenwünschen und keiner allgemeingültigen Norm entspricht. Diese Kosten müssen dann zusätzlich dokumentiert werden.

### Zusammenfassung

Zur Betrachtung der Alt-Maschine sowie deren Vergleich mit einer oder mehreren Alternativen werden nicht die gesamten Fertigungskosten betrachtet, sondern nur jene, die direkt mit der Maschine zusammenhängen. Das heißt die Fertigungsgemeinkosten können außer Acht gelassen werden. Wichtig beim Vergleich sind die Fertigungseinzelkosten, da diese sich durch die Anschaffung einer neuen Maschine ändern können.

## 4.2 Kalkulation der Auftragsangebotskosten

Ein wesentlicher Bestandteil der Auftragsabwicklung ist die Angebotsbearbeitung. Hier wird neben der Variantenkonfiguration, der Lieferterminermittlung auch der Preis für das für den Kunden herzustellende Produkt ermittelt. Die Grundlage dafür bilden die Stücklisten sowie Arbeitspläne. /SHUH-06/

Zur Bestimmung des Verkaufspreises des hergestellten Produktes dient die Preiskalkulation. Bereits in Punkt 3.3.1 wurde erklärt, dass die Fertigungskosten zusammen mit den Materialkosten zu den Herstellkosten des Produktes zählen. Zusammen mit den Vertriebs- und Verwaltungskosten bilden die Herstellkosten dann die Selbstkosten. Die Selbstkosten wiederum bilden die Basis zur Kalkulation des Angebotes für den Kunden, wie Tabelle 2 verdeutlicht. /MUMM-19/

Tabelle 2: Schema der Angebotskalkulation in Industriebetrieben /MUMM-19, S. 142/

Selbstkosten	Schema der Angebotskalkulation
+ Gewinn- und Wagniszuschlag	
= vorläufiger Verkaufspreis	
+ Vertreterprovision	
= Barverkaufspreis	
+ Skonto	
= Zielverkaufspreis	
+ Rabatt	
= Listen- bzw. Nettoverkaufspreis	
+ Umsatzsteuer	
= Bruttoverkaufspreis	

Auf die Selbstkosten wird zu Beginn ein Gewinn- und Wagniszuschlag summiert. Dieser fällt an, da das produzierende Unternehmen das Betriebs- und Marktrisiko auf sich nimmt. Darüber hinaus dient dieser Zuschlag dazu, dass das Unternehmen die Möglichkeit hat Reserven zu bilden, mögliche Verluste zu decken sowie Rationalisierungs- und Erweiterungsinvestitionen vorzunehmen. Die Höhe des Gewinn- und Wagniszuschlages ist von mehreren Faktoren abhängig. So ist es in einer schwierigen Phase der

allgemeinen Wirtschaft auch nicht so leicht einen hohen Zuschlag durchzusetzen wie zu Zeiten der Hochkonjunktur. Weiterhin sind die Konkurrenzverhältnisse, Wettbewerbssituation und nicht zuletzt die eigene wirtschaftliche Situation des Betriebes ausschlaggebend für die Höhe des Zuschlages. Aus den Selbstkosten und dem Gewinn- und Wagniszuschlag ergibt sich der vorläufige Verkaufspreis, auf welchen dann die Vertreterprovision addiert wird. Hinzu kommen noch Skonto und Rabatt um den Listenverkaufspreis bzw. Nettoverkaufspreis zu erhalten. Das Skonto ist ebenfalls ein Preisnachlass zugunsten des Kunden, den er bekommt, wenn der Rechnungsbetrag innerhalb einer bestimmten Frist gezahlt wird. Zuletzt wird die Mehrwertsteuer auf den Verkaufspreis aufgeschlagen um den Bruttoverkaufspreis zu erhalten. /MUMM-19/

Ziel eines jeden Unternehmens ist es die Selbstkosten so niedrig wie möglich zu halten. Dazu lohnt es sich die herstellenden Maschinen zu betrachten, ob eine Verringerung der Maschinenkosten beispielsweise durch einen Maschinenersatz möglich ist. Meist wird vor Beginn der Produktion ein Angebotspreis für das Produkt kalkuliert, den der Kunde dann zahlt. Erhöhen sich dann über die Jahre die Selbstkosten, da die herstellende Maschine mehr Kosten verursacht, minimiert sich automatisch der Gewinn des Unternehmens. Bei unzureichender Beobachtung der Entwicklung der Kosten im Laufe der Jahre kann es im schlimmsten Fall dazu führen, dass die Herstellungskosten des Produktes den eigenen Verkaufspreis übersteigen. Aus diesem Grund ist es sinnvoll den Angebotspreis bei der Betrachtung der Maschinenkosten mit einzubeziehen.

## **5 Erstellung einer Methode zur Entscheidungsunterstützung bei einem Maschinenersatz**

### **5.1 Vorstellung Gesamtkonzept**

Die Betrachtung eines Maschinenersatzes erfolgt auf ganzheitlicher Ebene. Gemäß denen im Punkt 2.2 aufgezeigten Gesichtspunkten wird das Lösungskonzept sowohl rechnerisch einen Vergleich zwischen Alt-Maschine und Alternativen ziehen als auch weitere Aspekte diskutieren, die einen Maschinenersatz sinnvoll erscheinen lassen oder auch nicht. Die Methode zur Entscheidungsunterstützung bei einem Maschinenersatz wird auf Grundlage einer Nutzwertanalyse durchgeführt. Der Vorteil bei diesem Variantenvergleich ist sowohl die Berücksichtigung der monetären als auch der nicht monetären Kriterien. Des Weiteren wird im Zuge der Nutzwertanalyse eine Vorentscheidung getroffen, welche Ersatzalternativen in die engere Auswahl und den detaillierten Vergleich kommen. Nachdem gemäß den in Punkt 3.4 aufgezeigten Schritten einer Nutzwertanalyse ein Team gebildet wurde, welches sich mit dem Entscheidungsprozess auseinandersetzt und das konkrete Ziel formuliert wurde, wird die Methode in folgenden Schritten durchgeführt:

1. Vorauswahl der Ersatzalternativen
2. Sammlung der für den Vergleich relevanten Kosten und Daten
3. Definition der Entscheidungskriterien und Erstellung der Entscheidungstabelle
4. Bewertung und Entscheidung

Die Auswahl der möglichen Ersatzmaschinen erfolgt anhand einer Auswahlliste. Dafür werden Auswahlkriterien oder sogenannte K.O.-Kriterien festgelegt. Ausgewählt werden dann die Alternativen, die diese Kriterien erfüllen. Damit die Methode zur Entscheidungsunterstützung unkompliziert und schnell durchgeführt werden kann, ist es ratsam eine Alternative für den direkten Vergleich auszuwählen.

Nachdem dies erfolgt ist, werden im zweiten Schritt die Kosten beider Vergleichsmaschinen zusammengetragen und miteinander verglichen. Ziel ist es anhand von berechneten Maschinenkosten herauszufinden, ob eine Ersatzmaschine finanzielle Vorteile während des Betriebes erzielt. Betrachtet werden hierbei Teilkosten der Fertigungskosten. Bei dem Vergleich werden die Kosten für einen Musterauftrag betrachtet, die die Maschine verursacht, solange sie den einen Auftrag bearbeitet. Da sich Kosten im Laufe der Jahre ändern können, ist es sinnvoll, deren Verlauf jedes Jahr zu beobachten. So ist es möglich, dass rechtzeitig ein Maschinenersatz durchgeführt wird, sollten



sich günstigere Alternativen anbieten. Das heißt also, dass nach einigen Jahren, wenn sich das Ende der Nutzungsdauer annähert, mithilfe der Methode bereits die Kosten eingetragen und verglichen werden können. Außer den Kosten werden zusätzlich noch Produktions- und Stillstandzeiten der zu vergleichenden Maschinen angegeben. Darüber hinaus werden die Kosten für die Aufwände, die bei einem Maschinenersatz anfallen, kalkuliert, damit sie später als Entscheidungskriterium in die Argumentationstabelle aufgenommen werden können.

Neben dem Teilkostenvergleich werden mit der Nutzwertanalyse die ganzheitlichen Kriterien diskutiert und bewertet. Zunächst müssen die Kriterien gesammelt und definiert werden. Dazu eignet sich zum Beispiel ein Brain-Storming sowie das Erstellen einer Mind-Map (vgl. Punkt 2.2). Die Teamarbeit bietet einen wesentlichen Vorteil, da mehrere Teilnehmer ihre Gedanken mit einfließen lassen können und somit ein breites Spektrum an Aspekten zustande kommt. Zudem ist eine sofortige Diskussion der Kriterien möglich, wodurch eine bessere Aussonderung von vernachlässigbaren Punkten durchgeführt werden kann. Sind dann alle Kriterien, sowohl die quantitativen als auch die qualitativen zusammengetragen, werden sie gewichtet. Die einzelnen Möglichkeiten der Wichtungen wurden bereits im Punkt 3.4 erklärt. Am Ende steht noch die Bewertung der Kriterien. Die Bewertung erfolgt vor dem Hintergrund, ob ein Kriterium einen Maschinenersatz sinnvoll erscheinen lässt oder nicht. Diese wird dann mit der Gewichtung verrechnet und ein Nutzwert gebildet. Die Variante mit dem größten Nutzwert ist die bevorzugte. Je nach Bedarf kann eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden um mit der Entscheidung sicher zu gehen (vgl. Punkt 3.4).

Zur Erleichterung des Entscheidungsprozesses und der Durchführung der hier aufgeführten Schritte der Methode wird ein Excel-Tool dienen, dessen Erstellung in dieser Arbeit erläutert wird. Im ersten Teil bzw. auf dem ersten Blatt des Excel-Tools wird die Möglichkeit geschaffen die Vorauswahl der Ersatzalternativen zu treffen. Dazu dient eine Tabelle, die wie eine Auswahlliste aufgebaut ist, in die man die gesammelten Kriterien einträgt und die Alternativen nach deren Erfüllung bewertet. Ist diese Vorauswahl getroffen, kann im zweiten Excel-Blatt der Teilkostenvergleich durchgeführt werden. Dafür werden Tabellen vorgesehen, in die die einzelnen Kosten eingetragen werden, woraus Gesamtkosten berechnet werden. Die berechneten Ergebnisse können dann als Kriterien in den dritten Teil des Tools mit aufgenommen werden. In diese Tabelle werden dann alle gesammelten Kriterien eingetragen, gewichtet und bewertet.

In den folgenden Punkten werden die einzelnen Schritte detailliert betrachtet sowie die Erstellung des Excel-Tools näher erläutert.

## **5.2 Schritt 1: Vorauswahl der Ersatzalternativen**

Die Vorauswahl der Ersatzmaschinen ist wichtig, weil dadurch die Menge an Alternativen eingegrenzt wird. So ist später für alle Beteiligten der Vergleich mit der Alt-Maschine übersichtlicher und nachvollziehbar. Wie bereits im Punkt 3.4 entschieden wurde, wird die Vorauswahl in ähnlicher Form einer Auswahlliste erfolgen. Dazu bietet das Excel-Tool eine Vorlage für ein Formblatt, in welches die festgelegten Auswahlkriterien eingetragen werden sowie die zur Auswahl stehenden Alternativen. Ähnlich wie in Abbildung 7 wird dann bewertet, inwiefern eine Alternative ein Kriterium erfüllt. Die Vorauswahl dient dazu, dass in den ausführlichen Vergleich nur wenige Alternativen, wenn nicht sogar nur eine, mit einbezogen werden. Bei der Recherche nach Möglichkeiten werden häufig zu viele in die engere Auswahl mit aufgenommen. Durch die Vorauswahl werden bestimmte Festanforderungen angelegt, die die Alternativen erfüllen müssen um in die engere Auswahl zu gelangen. Solche Festanforderungen sind je nach Thema und Situation unterschiedlich und werden deshalb vom Team gemeinsam festgelegt. Bei einem Maschinenersatz ist es wie mit anderen Anschaffungen, bei denen bestimmte Erwartungen an das Produkt gestellt werden, die es erfüllen muss. Gemäß der Frage „Was muss eine neue Maschine mitbringen?“ können sich Festanforderungen auf folgendes beziehen:

- maximaler Anschaffungspreis einer Ersatzmaschine
- Mindestleistung/-kapazität einer Ersatzmaschine
- Größe der Ersatzmaschine
- Gewicht der Ersatzmaschine
- Bauart/Ausführung der Maschine

Nachdem die Kriterien festgelegt sind, wird überprüft ob diese von den jeweiligen Alternativen erfüllt werden. Dabei bietet es sich an die Bewertung etwas vereinfachter als in Punkt 3.4 zu gestalten. Es reichen dann die Bewertungsmöglichkeiten „erfüllt“ oder „nicht erfüllt“. Für „nicht erfüllt“ wird eine „0“ in die Tabelle eingetragen und für „erfüllt“ eine „1“. Erfüllt eine Alternative eine oder mehrere Anforderungen nicht, wird sie ausgesondert. Tabelle 3 zeigt einen Ausschnitt aus dem Excel-Tool, mit welchem die Vor-

auswahl der Ersatzmaschinen durchgeführt werden kann oder anhand dessen ein Anwender dieser Methode sich orientieren kann.

Tabelle 3: Aufbau einer Auswahlliste für die Vorauswahl der Ersatzmaschinen

	<b>Alternativen</b>		
	1	2	3
<b>Bezeichnung</b>	Maschine A	Maschine B	Maschine C
<b>Anforderung</b>			
Kriterium 1	1	0	1
Kriterium 2	1	0	1
Kriterium 3	1	1	1
Kriterium 4	0	0	1
<b>Entscheidung</b>	0	0	1

In die Tabelle des Excel-Tools werden die zur Verfügung stehenden Ersatzalternativen der Maschine mit Bezeichnung eingetragen. In der linken Spalte werden die Festanforderungen beschrieben. Am geeignetsten ist es diese Vorauswahl gemeinsam im Team zu besprechen und durchzuführen. Außerdem ist es sinnvoll nicht zu viele Kriterien in die Auswahlliste aufzunehmen um die Übersichtlichkeit zu bewahren und einen schnellen Ablauf zu gewährleisten. Die Entscheidung richtet sich danach ob alle Kriterien erfüllt werden. Ist dies der Fall, wird in die Zeile „Entscheidung“ eine „1“ eingetragen, wodurch das Feld grün erscheint. Bei „0“ färbt es sich dementsprechend rot. So bleibt die Übersicht für jeden Teilnehmer des Entscheidungsprozesses nachvollziehbar.

Dieser Schritt des Entscheidungsprozesses dient als Vorschlag und wird dann angewendet, wenn mehrere Ersatzalternativen zur Verfügung stehen. Dabei ist es hilfreich die Vorauswahl durchzuführen, da in den direkten Vergleich nur eine, maximal zwei Ersatzalternativen einfließen sollten. Andererseits besteht die Gefahr, dass der Aufwand diese Methode anzuwenden zu hoch wird.

### 5.3 Schritt 2: Sammlung der für den Vergleich relevanten Daten

Zum Aufbau eines Teilkostenvergleichs werden zunächst einmal bestimmte Eckdaten der zu vergleichenden Maschinen benötigt. Des Weiteren muss ein bestimmter Betrachtungszeitraum sowie eine gleiche Ausgangssituation dem Vergleich zugrunde gelegt werden. In diesem Fall wird ein Musterauftrag angenommen. Bestenfalls ein Auftrag, der schon länger auf der Alt-Maschine bearbeitet wird und auch die nächsten Jahre auf einer möglichen Ersatzmaschine weiterlaufen wird. Das heißt es werden Daten benötigt wie:

- Stückzahl Musterauftrag
- Kapazität der zu vergleichenden Maschinen
- Ausschussrate
- effektive Produktionszeit der Maschinen für den Musterauftrag in Stunden
- Laufzeit der Maschinen pro Jahr in Stunden
- Energieverbrauch der Maschinen

Mithilfe dieser Eckdaten lässt sich der Teilkostenvergleich durchführen, der sich auf die Fertigungseinzelkosten bezieht (vgl. Punkt 4.1). Die Fertigungsgemeinkosten wie zum Beispiel Mietkosten der Halle oder Kosten für Betriebsmittel ändern sich nicht automatisch mit dem Ersatz einer Maschine und bleiben aus diesem Grund unberücksichtigt. Zu den betrachteten Kosten sollen zählen:

#### Abschreibungen:

Bei einer im Zuge der Problemstellung betrachteten Anlage handelt es sich um einen abnutzbaren Vermögensgegenstand, der entlang seiner Nutzungsdauer einer Wertminderung unterliegt, welche ähnlich wie in Punkt 2.1 beschrieben wirtschaftliche, technische oder rechtliche Ursachen hat. Da hinein zählen unter anderem Verschleiß sowie technische oder wirtschaftliche Überholung oder aber der Ablauf von Verträgen und Lizenzen.

Handelt es sich bei der Maschine um eine Universalanlage, lassen sich aus den im Punkt 2.1 erwähnten Afa-Tabellen die betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer und auch die Höhe der Abschreibung ermitteln. Meist werden Abschreibungen pro Geschäftsjahr, oder daraus abgeleitet, pro Monat angegeben. Im Falle der Methode wird nur ein Musterauftrag betrachtet. Aus diesem Grund muss für einen Teilkostenvergleich die Abschreibung anteilig für den betrachteten Musterauftrag berechnet werden.

### Instandhaltungskosten:

Die Instandhaltungskosten werden meist für ein Geschäftsjahr erfasst. Um diese Kosten auf den Musterauftrag zu beziehen, werden sie ebenfalls wie die Abschreibungen anteilig für den zu betrachtenden Auftrag berechnet. In die Instandhaltungskosten zählen zum einen Kosten für das Instandhaltungspersonal mit hinein sowie Kosten für Material, neue Maschinenteile oder benötigte Betriebsmittel. Neben dem Vergleich der Kosten ist es ebenfalls sinnvoll die Wartungsintervalle der Maschinen gegenüberzustellen. Des Weiteren ist auch an den Häufigkeiten unerwarteter Reparaturen deutlich zu machen welche Maschine in Zukunft besser geeignet sein könnte um einen reibungslosen Ablauf der Prozesse sicherzustellen.

### Energiekosten für die Maschine:

Die Energiekosten einer Maschine richten sich nach deren Energieverbrauch und den aktuell herrschenden Energiepreisen für die Industrie. Der Energiepreis für Industrieunternehmen setzt sich zusammen aus Kosten für Beschaffung, Netzentgelt und Vertrieb sowie Abgaben und Umlagen. Einen Großteil der Umlagen nimmt dabei die EEG-Umlage (Erneuerbare-Energie-Umlage). Des Weiteren wird auf den Energiepreis eine Stromsteuer erhoben. /BDEW-22/

Aufgrund der zusätzlichen Abgaben sowie die aktuelle Entwicklung der Energiepreise, wie in /BDEW-22/ verdeutlicht wird, sind Industrieunternehmen immer mehr darauf bedacht ihren Energieverbrauch zu senken. Sollte bei der Überlegung für einen Maschinenersatz der Energieverbrauch durch eine effizientere Anlage reduziert werden können, dürfte dies die Entscheidung wesentlich beeinflussen.

### Personalkosten für das Bedienpersonal:

Die Personalkosten ergeben sich aus den Lohnkosten und den Lohnnebenkosten /GABL-04/.

Unter den Lohnkosten versteht man die „Summe der Bruttoarbeitsentgelte (Bruttolöhne), die ein Unternehmen während einer Abrechnungsperiode (Woche, Monat, Vierteljahr, Geschäftsjahr) zur Leistungserstellung aufwendet.“ /GABL-04, S. 1923/. Daneben zählen zu den Lohnnebenkosten die Kosten, die ein Unternehmen zusätzlich zum Lohn

für seinen Mitarbeiter zahlen muss, wie z.B. Beiträge zur Kranken-, Renten-, Arbeitslosen- oder Pflegeversicherung /GABL-04/.

Viele Industrieunternehmen arbeiten mit Tariflöhnen, die sich ändern können. Genauso unterliegen die Lohnnebenkosten jährlichen Schwankungen. Direkt im Zusammenhang mit dem Ersatz einer Maschine stehen diese Änderungen jedoch nicht. Trotzdem können sich durch den Einsatz einer neuen Maschine die Lohnkosten ändern. Dies ist der Fall wenn etwa für die Bedienung eine höhere Qualifikation notwendig sein wird und diese dann auch dementsprechend vergütet werden muss.

### Ausschusskosten

Ein gewisser Prozentsatz an Ausschussteilen lässt sich nie vermeiden. Jedoch bedeutet dies auch finanziellen Verlust. Deshalb ist es ratsam die Prozessabläufe insoweit zu optimieren, dass Störungen so gering wie möglich gehalten werden. Ebenso wird der Ausschuss reduziert, indem die Maschine selbst so wenig Störungen wie möglich und dadurch Ausschuss verursacht.

### Sonstige Kosten:

Da das Rechenmodell allgemein anwendbar sein soll, steht die Spalte „sonstige Kosten“ zur Verfügung. Wie schon in Punkt 4.1 erläutert, gibt es zusätzlich zu den Fertigungseinzelkosten auch noch Sondereinzelkosten der Fertigung. Diese treten jedoch nicht immer und für jede Anlage gleichermaßen auf. Sollten Kosten bei der Analyse auftreten, die nicht mit in der Tabelle aufgelistet sind, können so unter „sonstige Kosten“ geschrieben und mit in die Rechnung einbezogen werden.

Nachdem die einzelnen Teilkosten der Fertigung für den Musterauftrag ermittelt wurden, wird daraus die Summe gebildet und dient so als Vergleichswert zwischen der Alt-Maschine und der Ersatzalternative. Für den Vergleich ist es dann zusätzlich sinnvoll einige Bestandteile der Gesamtkosten separat gegenüberzustellen. So ist eine differenziertere Betrachtungsweise möglich um zu erkennen an welchen Stellen sich bei den Alternativen eventuell Kosten einsparen lassen.

Neben dem Vergleich der maschinenbezogenen Kosten zwischen den möglichen Alternativen sollte ebenfalls der Angebotspreis für das zu produzierende Teil mit einbezogen werden. In Punkt 4.2 wird dargestellt wie sich dieser Preis zusammensetzt. Wenn ein Kunde in einem Unternehmen die Produktion eines gewünschten Artikels anfragt, wird ein Angebotspreis kalkuliert, zu welchem das Unternehmen den Artikel anbietet. Für das Thema Maschinenersatz ist der Angebotspreis deshalb wichtig, da regelmäßig überprüft werden muss, ob die Maschinenkosten zur Produktion eines Teils noch in einem angemessenen Verhältnis zum Verkaufspreis stehen. Wird dies nicht betrachtet oder durchgeführt und die Maschinenkosten steigen unbemerkt, können diese sogar den Verkaufspreis überschreiten, was zu einem deutlichen Verlust für das Unternehmen führen würde. Durch regelmäßige Beobachtung der Kosten kann dies aber verhindert werden. Gegebenenfalls kommt ein Maschinenersatz infrage, sollten die Kosten der alten Maschine zu hoch werden.

Des Weiteren bietet es sich an die Leistungen der Maschinen zu betrachten. Eine serienmäßig produzierende Maschine kann je nachdem wie hoch die Kapazität ist eine gewisse Anzahl an Teilen in einer bestimmten Zeit herstellen. Durch verbesserte Technologie oder höherer Leistung kann diese Menge in der bestimmten Zeit erhöht werden bzw. die Zeit, die für die Produktion der gleichen Menge benötigt wird, verkürzt werden. Durch den Vergleich dieser Zeiten zwischen der Alt-Maschine und einer Ersatzmaschine, kann aufgezeigt werden, inwieweit ein Ersatz einen Vorteil bringen könnte. Ein weiterer Punkt sind die maschinenbedingten Stillstandzeiten. Können diese verringert werden durch einen Ersatz, hat dies einen wesentlichen Einfluss auf die Entscheidung. Denn nur wenn die Maschine nicht stillsteht, kann sie auch produzieren.

Eine nicht zu vernachlässigende Aufgabe ist die Diskussion der Aufwände, die bei einem möglichen Maschinenersatz anfallen sowie die Kalkulation der dazugehörigen Kosten. Übersteigen diese den Nutzen eines Ersatzes, kann die Entscheidung auch gegen einen Maschinenersatz getroffen werden.

In Tabelle 4 werden die Daten, die für den Vergleich der Alt-Maschine mit der Ersatzalternative notwendig sind, aufgelistet.

Tabelle 4: Vergleich der Maschinendaten

<b>Vergleichswert</b>	<b>Alt-Maschine</b>	<b>Ersatzalternative</b>
<b>Abschreibungen</b>		
<b>Instandhaltungskosten</b>		
<b>Energiekosten</b>		
<b>Personalkosten</b>		
<b>Ausschusskosten</b>		
<b>Sonstige Kosten</b>		
<b>Gesamtkosten</b>		
<b>Gesamtkosten pro Stk.</b>		
<b>Vergleich der Gesamtkosten mit Verkaufspreis</b>		
<b>Maschinenbedingte Stillstandzeiten</b>		
<b>Beschaffungskosten</b>		

Die Beschaffungskosten bestehen aus den Aufwandskosten und dem Anschaffungspreis einer Ersatzalternative (vgl. Punkt 2.2). In Punkt 6 wird die Zusammensetzung näher betrachtet.



#### 5.4 Schritt 3: Definition der Entscheidungskriterien und Erstellung der Entscheidungstabelle

Die in Punkt 3.4 erläuterte Nutzwertanalyse bildet die Grundlage der hier angewendeten Methode zur Entscheidungshilfe bei einem Maschinenersatz. An dieser Stelle wird eine für diese Anwendung modifizierte Tabelle im Excel-Tool bereitgestellt, in welche die gesammelten Kriterien eingetragen, gewichtet und später bewertet werden. Dabei wird bei jedem Kriterium untersucht ob es für oder gegen einen Maschinenersatz spricht.

Für die Tabelle werden im Vorfeld Entscheidungskriterien definiert. Diese entstehen zum einen auf der Grundlage des Kostenvergleichs und der weiteren quantitativen Daten aus Schritt 2. Zum anderen werden ganzheitliche qualitative Kriterien definiert. Die Kriterien werden im Zuge der Nutzwertanalyse im Team diskutiert unter der Frage: Spricht das Kriterium für oder gegen einen Maschinenersatz? Am Ende errechnet sich aus der Wichtung und der Bewertung „pro“ oder „kontra“ Maschinenersatz ein Nutzwert für beide Möglichkeiten.

Der Aufbau der Entscheidungstabelle wird in der folgenden Tabelle 5 dargestellt

Tabelle 5: Aufbau der Entscheidungstabelle

<b>Entscheidungskriterien</b>	<b>Gewichtung</b>	<b>Alt-Maschine</b>	<b>Alternative</b>	<b>Bemerkungen</b>	<b>pro</b>	<b>kontra</b>
1.						
2.						
3.						
4.						
...						
...						
<b>Gesamt</b>	100%				NW	NW

In die linke Spalte der Tabelle werden die Kriterien zusammen mit der jeweiligen Gewichtung eingetragen. Die Gewichtung eines Kriteriums wird in Prozent angegeben. Es ist darauf zu achten, dass die Gewichtungen insgesamt 100 % ergeben. Die folgenden Spalten stehen für die möglichen Alternativen, also die Alt-Maschine und die Ersatzmaschine. Bei den quantitativen Kriterien werden in die Zellen dieser Spalten die zu ver-

gleichenden Zahlen eingetragen. Dies hat zum Vorteil, dass die Vergleichswerte auf einen Blick zu erfassen sind. Bei den qualitativen Kriterien können in diese Spalten für die jeweilige Maschine spezifische Bemerkungen eingetragen werden. In die Spalte „Bemerkungen“ werden nach Bedarf allgemeine Bemerkungen erfasst wie zum Beispiel Argumente, die für bzw. gegen den Maschinenersatz sprechen. Die letzten beiden Spalten tragen die Bezeichnungen „pro“ und „kontra“. Sie dienen dazu die Entscheidung einzutragen, ob das Kriterium für oder gegen einen Maschinenersatz spricht. Je nach Entscheidung wird in das jeweilige Feld eine 1 eingetragen. Das Excel-Tool errechnet dann aus der Gewichtung der Kriterien die Nutzwerte für „pro“ und „kontra“. Somit ist die bevorzugte Variante dann die mit dem höheren Nutzwert.

Die quantitativen Kriterien beziehen sich wie schon erwähnt auf den Vergleich ausgewählter Fertigungskosten. Diese werden zu Gesamtkosten der jeweiligen Maschine zusammengefasst und miteinander verglichen. Für eine differenziertere Betrachtung jedoch können auch die einzelnen Bestandteile der Gesamtkosten wie beispielsweise die Instandhaltungs- oder Energiekosten separat verglichen werden und als Kriterium mit in die Argumentationstabelle aufgenommen werden. Außerdem kann die Gegenüberstellung von Produktionszeit und maschinenbedingter Stillstandzeit Einfluss auf die Entscheidung über einen Maschinenersatz haben.

Die in Punkt 2.2 zusammengefassten Gesichtspunkte bei der Überlegung eines Maschinenersatzes bilden für die qualitativen Kriterien die Basis und können je nach Maschine, die betrachtet wird, angepasst werden.

Allgemein sollte darauf geachtet werden nicht zu viele Kriterien in die Tabelle mit aufzunehmen, da sonst eine abgestufte Gewichtung schwieriger wird. Je detailreicher die Tabelle ist, desto unübersichtlicher wird außerdem die Durchführung. Deshalb ist es einfacher beispielsweise die Kosten als ein Kriterium bzw. eine Fragestellung zusammenzufassen und dann in den Spalten für die Bemerkungen zu begründen weshalb der Kostenvergleich eher für oder gegen den Maschinenersatz spricht.

## 5.5 Schritt 4: Bewertung und Entscheidung

Die Bewertung der in der Tabelle aufgelisteten Kriterien erfolgt innerhalb des Teams mithilfe einer Gruppendiskussion und schließlich einer Einigung über die Einschätzung der möglichen Alternativen. In Tabelle 1 auf Seite 21 wurde beispielhaft eine Bewertungsskala einer Nutzwertanalyse dargestellt. Dort gab es eine Punktzahl bis 10, die vergeben werden kann, je nachdem wie ein Kriterium erfüllt wird. In dem hier angewendeten Fall einer Entscheidungsunterstützung für oder gegen einen Maschinenersatz erfolgt die Bewertung bezüglich einer anderen Frage. „Spricht das Kriterium für eine Ersatzinvestition oder dagegen?“. Nach Erörterung der Frage zu jedem Kriterium im Team wird eine Entscheidung diesbezüglich getroffen und entweder ein Punkt in die Spalte „pro“ oder „kontra“ eingetragen. Am Ende wird dann für beide Varianten der jeweilige Nutzwert berechnet.

Die Durchführung dieser modifizierten Nutzwertanalyse gleicht der umgekehrten Form eines Pro-Kontra-Kataloges, in welchen die Argumente für und gegen einen Maschinenersatz gesammelt werden. Die Seite mit den meisten Argumenten würde dann die bevorzugte sein. Jedoch ist der Nachteil bei einer solchen Methode, dass zum einen die Argumente nicht gewichtet sind. Dies ist jedoch von Bedeutung, um Prioritäten setzen zu können. Zum anderen ist diese hier erstellte Methode systematischer aufgebaut als ein Pro-Kontra-Katalog, denn es werden auch mögliche Ersatzalternativen der Alt-Maschine gegenübergestellt, wodurch übersichtlich die wichtigsten Daten mit in das Entscheidungsschema eingetragen werden.

Bei der Berechnung des Nutzwertes sind in diesem Fall die vergebenen Punkte von geringerer Bedeutung. Entweder wird ein Punkt an „pro“ oder an „kontra“ vergeben. Wichtig sind die Gewichtungen der einzelnen Kriterien. Diese werden miteinander addiert. Daraus errechnet sich ein Gesamtnutzwert für die Pro-Seite und für die Kontra-Seite. Dadurch ist es auch möglich, dass eine Seite einen höheren Wert hat, auch wenn dort weniger Argumente hineinzählen. Ohne eine Gewichtung der Kriterien hätte dann das Ergebnis genau entgegengesetzt ausgesehen. Die Gewichtung macht deutlich auf welche Kriterien ein besonderes Augenmerk gelegt wird. So kann es zum Beispiel von größerer Bedeutung sein, dass die Umbaumaßnahmen für einen Ersatz so gering wie möglich gehalten werden um Kosten einzusparen, als wenn die neue Maschine eine höhere Kapazität hat obwohl dies vielleicht gar nicht nötig ist.

Am Ende, nachdem die Nutzwerte für beide Varianten berechnet wurden, kann bei Bedarf anhand einer Sensitivitätsanalyse die Robustheit der Ergebnisse überprüft werden.

Die in Punkt 3.4 erläuterten Möglichkeiten beziehen sich auf die Änderung der Gewichtung der Kriterien oder einer Neubewertung. Da in dieser Anwendung jedoch schon von vorn herein häufig im Team über das Thema diskutiert wird, die Kriterien gut überlegt ausgewählt und gewichtet werden, ist zu überlegen ob eine solche Analyse notwendig ist. Trotzdem ist es ratsam das Ergebnis in der Gruppe auszuwerten und zu überprüfen, ob alles fehlerfrei und nachvollziehbar für alle stattgefunden hat. Dadurch kann festgestellt werden, ob eventuell Nacharbeiten durchgeführt werden müssen.

Wenn die Entscheidung feststeht, ist diese genau zu dokumentieren, sowie den Weg dahin übersichtlich und nachvollziehbar darzustellen, denn auf deren Grundlage werden dann im Falle eines Maschinenersatzes die nächsten Schritte eingeleitet und der Prozess des Ersatzes geplant. Im Gegensatz dazu muss bei dem Ergebnis, dass kein Ersatz notwendig ist für jeden ersichtlich sein, warum das so ist, damit kein Unverständnis aufkommt.

Wenn die durchgeführte Methode zu dem Ergebnis kommt, dass aktuell ein Maschinenersatz eher weniger sinnvoll ist, kann es dennoch sein, dass zu einem späteren Zeitpunkt die Entscheidung anders ausfallen würde. Aus diesem Grund kann das Excel-Tool analog für eine stetige Betrachtung in gewissen Zeitabständen genutzt werden.

## 6 Anwendung der Methode an einem Beispiel

### 6.1 Vorstellung des Beispielszenarios

Bei dem fiktiven Beispiel zur Anwendung der in Punkt 5 vorgestellten Methode handelt es sich um eine Spritzgießmaschine eines mittelständischen Unternehmens aus der Automobilindustrie. Mit dieser Maschine werden Luftführungen für Autos hergestellt, die nicht spezifisch für einen Autotyp bestimmt sind, sondern serienmäßig in so gut wie jedem Modell verbaut werden. Spritzgießmaschinen gibt es in vertikaler und horizontaler Ausführung. Im Fall dieses Beispiels handelt es sich um eine horizontale Spritzgießmaschine mit elektrischem Antrieb. Der schematische Aufbau der hier zugrundeliegenden Maschine wird in Abbildung 8 dargestellt.

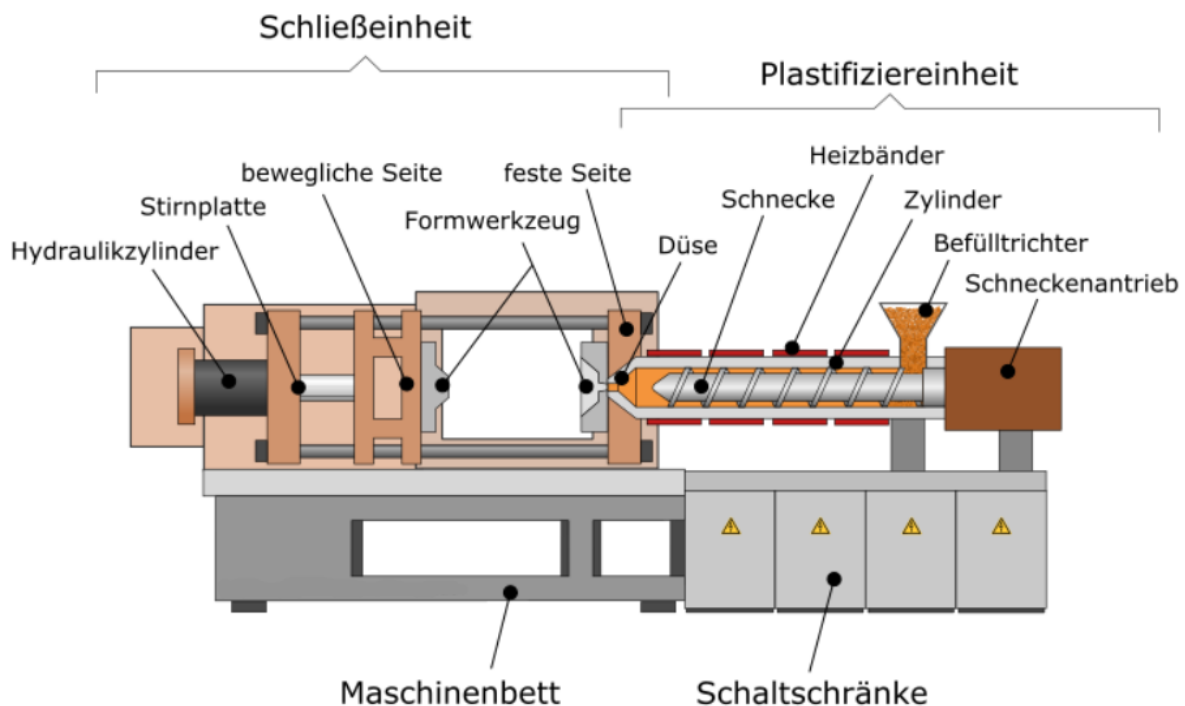


Abbildung 8: Aufbau einer Spritzgießmaschine /MASCH-22/

Eine Spritzgießmaschine besteht aus zwei Einheiten. In der Plastifiziereinheit wird der Zylinder mit einer sich darin befindlichen Schnecke mit einem Kunststoffgranulat befüllt. Durch Rotieren der Schnecke wird das Granulat durch den Zylinder befördert. Die dabei entstandene Reibung verursacht zusammen mit der Wärmezufuhr über die Heizbänder, dass das Material aufgeschmolzen wird. Ist der Kunststoff zu einer homogenen Masse vermengt, kommt die Schließeinheit zum Einsatz. Das Formwerkzeug wird geschlossen und die Kunststoffmasse in dieses hineingespritzt. Nachdem das Formteil erstarrt und

abgekühlt ist, wird das Werkzeug wieder geöffnet und das fertige Teil ausgestoßen. Der Zyklus der Plastifizierung kann erneut beginnen. /ABTS-20/

Die zu betrachtende Maschine wurde mit einem Wert von 798.343,80 € angeschafft und am 31.08.2017 im Unternehmen in Betrieb genommen. Es handelt sich um eine Universalanlage mit einer betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauer bzw. einem Abschreibungszeitraum von 10 Jahren. Die monatliche Abschreibung beträgt 6.557,50 €. Die Anlage arbeitet im 2-Schicht-Betrieb und produziert für den Musterauftrag 120 Stück pro Stunde mit einer Ausschussrate von 1,8 %. Die Ausschusskosten pro Formteil betragen 2,30 €. /WEIDPLAS-22/

Die Spritzgießmaschine hat ein Gewicht von 80 t und die Größe der Stellfläche beträgt 12x12m inklusive Peripherie /WEIDPLAS-22/. Der Stellplatz der Anlage liegt in einer Ecke der Werkhalle direkt am Hauptweg sowie dem Tor zum Lager. An dieser Stelle der Werkhalle befinden sich keine Säulen, die den aktuellen Arbeitsplatz behindern.

Pro Schicht arbeitet ein Werker an der Maschine mit einem Stundensatz von 32 €. Die Qualifikation der Werker umfasst die eines Maschinen- und Anlagenführers. Alle Maschinenteile sind im Maschinengehäuse verstaut. Der Werker ist während dem Betrieb der Anlage durch eine Schutztür vom sich schließenden Formwerkzeug abgetrennt, sodass Arbeitsunfälle vermieden werden. Der Plastifizierungszyklus kann auch nur stattfinden, wenn diese Tür geschlossen ist. Mehrere Sensoren stellen dies sicher.

Die gesamten Abläufe der Produktionsprozesse des Unternehmens sind digitalisiert erfasst und werden über SAP gesteuert und überwacht. Demzufolge besitzt die Spritzgießmaschine eine Software, die mit dem zentralen Serversystem des Unternehmens kompatibel ist.

Der in diesem Beispielszenario dargestellte Musterauftrag umfasst die Summe aller Einzelauftragsmengen eines Artikels in einem Geschäftsjahr. Dabei handelt es sich wie bereits erwähnt um ein universelles Bauteil für Autos jeglicher Ausführung. Die Gesamtauftragsmenge für diesen Artikel beträgt 113.400 Stück in einem Jahr. Insgesamt werden in einem Geschäftsjahr auf der Maschine 453.600 Formteile produziert, d.h. der Anteil des betreffenden Artikels an der Gesamtproduktion beträgt 25 %. Der Verkaufspreis pro Stück beträgt 2,50 €.

Wie bereits erwähnt produziert die Spritzgießmaschine im 2-Schicht-Betrieb. Für die Rechnung wird als Grundlage ein Jahr mit 255 Arbeitstagen angenommen. Das bedeu-

tet die Maschine hat insgesamt eine Produktionszeit von 4080 Stunden. Jedoch werden davon noch die Stillstandzeiten abgezogen um die effektive Maschinenlaufzeit zu erhalten. Stillstände können aufgrund von Störungen in den Prozessabläufen, durch unvorhergesehene Personalausfälle oder Störungen an der Maschine entstehen.

Maschinenbedingte Stillstände während dem Produktionsbetrieb lassen sich folgendermaßen zusammenfassen /WEIDPLAS-22/:

- Aufheizen der Anlage
- Reparatur
- Wartung
- Störung Werkzeug
- Störung Maschine
- Werkzeugservice
- Rüsten

Bei der zu betrachtenden Maschine setzen sich die maschinenbedingten Stillstandzeiten während dem Produktionsbetrieb beispielhaft wie folgt zusammen /WEIDPLAS-22/:

Tabelle 6: Maschinenbedingte Ausfallzeiten

<b>Stillstandsgrund</b>	<b>Stillstand in Stunden und Minuten</b>
Aufheizen der Anlage	19h 15min
Reparatur	60h 50min
Wartung	1h 21min
Störung Werkzeug	19h 8min
Störung Maschine	23h
Werkzeugservice	53h 43min
Rüsten	36h 4min
<b>Gesamt</b>	<b>213h 21min</b>

Zusammen mit Stillständen, die nicht auf Probleme an der Maschine zurückzuführen sind, beträgt die Stillstandzeit für den betrachteten Zeitraum 300 Stunden, weshalb die effektive Maschinenlaufzeit, in der produziert wird, 3780 Stunden umfasst. Davon produziert die Maschine 945 Stunden lang die Teile des Musterauftrags. Der Energieverbrauch für die Spritzgießmaschine liegt auf das gesamte Jahr gesehen für das Heizen

bei 96.292 kWh und für den Antrieb 88.649 kWh /WEIDPLAS-22/. Der Energiepreis, der diesem Rechenbeispiel zugrunde liegt, soll 21,38 ct/kWh betragen /BDEW-22/.

Die Instandhaltung der Spritzgießmaschine umfasst sowohl Wartungen oder den Austausch von Teilen in bestimmten Abständen, die vorgeschrieben sind, als auch unvorhergesehene notwendige Reparaturen.

## **6.2 Schritt 1: Vorauswahl der Ersatzalternativen**

Für eine Recherche nach geeigneten Ersatzalternativen werden sogenannte Festanforderungen benötigt um die Alternativen danach auszuwählen. Wie bereits in den Punkten 3.4 und 5.2 beschrieben werden die Festanforderungen auch K.O.-Kriterien genannt. Nur wenn die Alternative alle diese Anforderungen erfüllt, kann sie gewählt werden. Das heißt, dass zunächst die Festanforderungen festgelegt werden, wonach eine Ersatz-Spritzgießmaschine ausgewählt wird. Der Beschreibung der Ausgangssituation in Punkt 6.2 ist zu entnehmen, dass die aktuelle Anlage eine horizontale Ausführung einer Spritzgießmaschine ist. Demzufolge ist eine erste Festanforderung die horizontale Bauweise. Des Weiteren sollte eine Ersatzalternative eine maximale Stellfläche von 12x12 m haben und ein maximales Gewicht von 80t, denn im Fall eines Ersatzes wird die neue Anlage den Platz der Alt-Maschine einnehmen und sollte deshalb in etwa gleiche Abmaße haben. Der maximale Anschaffungspreis einer Ersatzalternative sollte 1,2 Mio. € nicht überschreiten.

Mithilfe dieser Festanforderungen können wie in Punkt 5.2 verschiedene Alternativen bewertet und ausgesondert werden. Dabei ist es sinnvoll die Festanforderungen bei der Recherche vor Augen zu haben und systematisch zu schauen, ob eine Alternative alle Anforderungen erfüllt. Trifft dies nicht zu, wird diese Alternative direkt ausgesondert und weiter recherchiert. Wenn am Ende mehrere Alternativen alle Anforderungen erfüllen, können diese entweder mit in die spätere detailliertere Analyse aufgenommen werden, oder aber es wird eine Alternative für den Vergleich mit der Alt-Maschine innerhalb des Teams der Entscheider ausgewählt. Bei der ersten Möglichkeit besteht der Nachteil, dass zunächst einige Daten von den Alternativen ermittelt werden müssen, was einen deutlichen Mehraufwand bedeutet. Außerdem werden dadurch der gesamte Prozess und der Vergleich unübersichtlich. Um die Einfachheit, Nachvollziehbarkeit und eine rasche Durchführung des Entscheidungsprozesses zu gewährleisten, ist es daher von Vorteil sich im Team für eine Alternative zu entscheiden, die in die differenziertere Ana-



lyse einbezogen wird. Tabelle 7 zeigt eine einfache Rechercheunterstützung gemäß Tabelle 3 auf Seite 33:

Tabelle 7: Auswahl der Ersatzalternative einer Spritzgießmaschine

	Alternativen		
	1	2	3
Bezeichnung			
Anforderung			
Horizontale Bauweise	1	0	1
Stellfläche inklusive Peripherie 12x12m	0	1	1
maximales Gewicht 80 t	1	1	1
maximaler Anschaffungspreis 1,2 Mio. €	0	0	1
kompatibles Software-System?	0	1	1
Entscheidung	0	0	1

Für das hier angewendete Beispielszenario wurde eine Ersatzalternative ausgewählt, die alle Festanforderungen erfüllt. Es handelt sich um eine ebenfalls horizontale Spritzgießmaschine mit den in Tabelle 7 angegebenen Abmaßen und einem Anschaffungspreis von 1 Mio. €. Weitere Daten der Ersatzalternative sind:

- Abschreibungszeitraum: 10 Jahre
- Energieverbrauch: durchschnittlich 17.000 kWh im Monat
- Ausschussrate: 1,5%
- Stillstandzeiten: 10% geringere Aufheizzeit
- Instandhaltungskosten für festgeschriebene Arbeiten: 6.000€/Jahr
- Kapazität: 120 Stk/h

Auch bei dieser Anlage wird der gleiche Musterauftrag angenommen wie bei der Alt-Maschine, d.h. 113.400 Stk. in einem Jahr. Die Alternativmaschine ist ein ähnliches, jedoch moderneres Modell als die Alt-Maschine und die Software somit auch mit der

des Unternehmens kompatibel. Da es sich um die Produktion des gleichen Teils wie auf der aktuellen Maschine handelt, sind auch die Prozessparameter bei einer neuen Anlage nicht anders. Das heißt das gleiche Teil kann auch auf einer neueren Maschine nicht schneller produziert werden. Jedoch ist bei der Ersatzalternative die Zeit für das Aufheizen geringer, was wiederum zu etwas kürzeren Stillstandzeiten führt, die bei der Gesamtstillstandzeit aber nur einen kaum spürbaren Effekt ausmachen.

### **6.3 Schritt 2: Sammlung der für den Vergleich relevanten Daten**

#### **Daten der Alt-Maschine**

##### Abschreibungen:

Wie aus Punkt 6.1 zu entnehmen ist, wurde die Spritzgießmaschine mit einem Wert von 798.343,80 € angeschafft und wird monatlich über 10 Jahre mit 6.557,50 € abgeschrieben. Das heißt die jährliche Abschreibung beträgt 78.690 €. Da die Betrachtung der Maschinen nicht auf ein Geschäftsjahr bezogen wird, sondern auf den Musterauftrag, wird die Abschreibung anteilig für diesen fiktiven Auftrag berechnet. Der Anteil des Musterauftrags an der gesamten Produktionsmenge der Maschine beträgt 25 %. Das bedeutet die Abschreibung bezogen auf den Musterauftrag hat eine Höhe von **19.672,50 €**.

##### Instandhaltungskosten:

Die Instandhaltungsaufgaben reichen vom Austausch bestimmter Teile und Schmiermittel über Reinigungen bis hin zur Bearbeitung von Störmeldungen der Anlage. Die Kosten aller Instandhaltungseinsätze im Geschäftsjahr 2021 belaufen sich auf insgesamt 36.473,36 €. Anteilig für den Musterauftrag gerechnet, sind dies **9.118,34 €**.

##### Energiekosten:

Der Energieverbrauch wird im Unternehmen ebenfalls für ein gesamtes Geschäftsjahr dokumentiert. Für das Aufheizen der Maschine und für den Antrieb werden insgesamt 184.941 kWh Energie verbraucht. Davon wurden 46.235 kWh für die Ausführung des

Musterauftrages verbraucht. Der für das Rechenbeispiel festgelegte Energiepreis beträgt 21,38 ct/kWh. Das heißt für den Musterauftrag, dass sich der Energiepreis auf **9.885 €** beläuft.

#### Personalkosten:

Das Bedienpersonal für die Spritzgießmaschine besteht aus einem Maschinen- und Anlagenführer pro Schicht. Da das Personal auch bei Stillständen der Maschine weiterhin bezahlt wird, werden die Personalkosten mit der Produktionszeit ohne Abzug der Stillstände berechnet. Daraus ergeben sich bei einem Stundensatz von 32 € Kosten in einer Höhe von 130.560 €, die umgerechnet auf den Musterauftrag **32.640 €** betragen.

#### Ausschusskosten:

Bei 113.400 Stück der Formteile sind 2042 nicht in Ordnung. Für jedes Ausschussteil entsteht ein Verlust von 2,30 €. Das bedeutet, dass dem Unternehmen für den Musterauftrag **4.696,60 €** an Ausschusskosten entstehen.

#### Sonstige Kosten:

Bei der in diesem fiktiven Beispiel angenommenen Maschine handelt es sich um eine Universalanlage. Das Beispiel dient zur Veranschaulichung der Methode. Aus diesem Grund werden sonstige Kosten nicht berücksichtigt, können jedoch individuell vom Anwender ergänzt und in den Vergleich einbezogen werden.

#### Maschinenbedingte Stillstandzeiten:

In Punkt 6.1 sind die Gründe der maschinenbedingten Stillstände aufgelistet. Die Gesamtstillstandzeit, die durch Störungen der Maschine verursacht wurden, beläuft sich im gesamten Geschäftsjahr auf 213 Stunden und 21 Minuten. Diese Zeit wird wieder für den Musterauftrag heruntergerechnet. Demnach stand die Maschine während der Produktion des Auftrags für **53 Stunden und 20 Minuten** still.

## Daten der Ersatzalternative

### Abschreibungen:

Bei der Ersatzalternative handelt es sich um ein vergleichbares Modell einer Spritzgießmaschine wie die aktuelle Anlage. Aus diesem Grund hat auch diese einen Abschreibungszeitraum von 10 Jahren. Der Anschaffungswert würde 1 Mio. € betragen. Dies würde eine jährliche Abschreibung von 100.000 € bedeuten. Dieser Betrag muss ebenfalls anteilig für den bestehenden Musterauftrag heruntergerechnet werden. Der Musterauftrag macht 25 % von der Gesamtproduktion aus. Demzufolge besitzt die Abschreibung hierfür eine Höhe von **25.000 €**.

### Instandhaltungskosten:

An den Spritzgussmaschinen, sowohl die sich aktuell in Betrieb befindliche, als auch die Ersatzalternative, müssen in geregelten Abständen Wartungen durchgeführt werden. Außerdem wird auch der Austausch bestimmter Bauteile zu gewissen Zeitpunkten vorgeschrieben. Dadurch lässt sich verhindern, dass unvorhergesehene Stillstände durch aufwendige Reparaturen verursacht werden. Für diese im Vorfeld geplanten Wartungsarbeiten werden 6.000 € im Jahr veranschlagt /WEIDPLAS-22/. Trotzdem kann es immer wieder zu plötzlichen Störungen kommen. Durch Recherche zum Beispiel über Erfahrungsberichte anderer Firmen oder anderen Standorten des gleichen Konzerns, in denen eine solche Maschine bereits in Betrieb ist, kann herausgefunden werden, in welchem Bereich sich die Instandhaltungskosten für eine solche Maschine bewegen. Im fiktiven Beispiel für diese Anwendung werden für die unvorhergesehenen Instandhaltungsmaßnahmen Kosten in Höhe von 25.000 € angenommen. Daraus ergeben sich insgesamt an Instandhaltungskosten für ein Jahr in Höhe von 31.000 €. Anteilig für den Musterauftrag sind das dann **6.500 €**.

### Energiekosten:

Der Energieverbrauch der Ersatzalternative beläuft sich auf 204.000 kWh für ein gesamtes Geschäftsjahr. Heruntergerechnet auf den Musterauftrag liegt der Energieverbrauch bei 51.000 kWh. Bei einem angenommenen Strompreis von 21,38 ct pro kWh ergibt das einen Energiepreis von **10.903,80 €**.

### Personalkosten:

Da es sich weiterhin um den gleichen Auftrag handelt mit einer ähnlichen Maschine, wird auch bei der Ersatzalternative das gleiche Personal in gleicher Menge eingesetzt. Das heißt ein Werker pro Schicht bei einem Stundensatz von 32 €. Somit belaufen sich hier die Personalkosten ebenfalls auf **32.640 €**.

### Ausschusskosten:

Die Ausschussrate für eine Ersatzalternative wird bei 1,5% angenommen. Daraus lassen sich bei 113.400 Stück errechnen, dass 1701 Teile nicht in Ordnung sein werden. Die Ausschusskosten betragen demzufolge **3.912,30 €**.

### Sonstige Kosten:

Gemäß den bei der Alt-Maschine genannten Gründen, werden die sonstigen Kosten bei dieser Teilkostenrechnung nicht berücksichtigt, können jedoch bei der praktischen Anwendung individuell ergänzt werden.

### Maschinenbedingte Stillstandzeiten:

Bei den maschinenbedingten Stillstandzeiten ist anzumerken, dass die Ersatzalternative 10 % weniger Zeit zum Aufheizen benötigt. Außerdem sind geringere Stillstandzeiten durch Instandhaltungs- und Wartungsarbeiten anzunehmen. Demzufolge ist von einem Zeitraum für maschinenbedingte Stillstände von **45 Stunden** auszugehen.

## Zusammenfassung/Vergleich der Daten

In der folgenden Tabelle 8 werden die zuvor gesammelten Daten, vor allem die Kosten, direkt gegenübergestellt. Im Excel-Tool wird diese Tabelle ebenfalls vorhanden sein um beim Ausfüllen der Argumentationstabelle einen schnellen Zugriff auf die benötigten Daten zu haben.

Tabelle 8: Gegenüberstellung der quantitativen Kriterien

<b>Vergleichswert</b>	<b>Alt-Maschine</b>	<b>Ersatzalternative</b>
<b>Abschreibungen</b>	19.672,50 €	25.000,00 €
<b>Instandhaltungskosten</b>	9.118,34 €	6.500,00 €
<b>Energiekosten</b>	9.885,00 €	10.903,80 €
<b>Personalkosten</b>	32.640,00 €	32.640,00 €
<b>Ausschusskosten</b>	4.696,60 €	3.912,30 €
<b>Sonstige Kosten</b>	-	-
<b>Gesamtkosten</b>	76.012,44 €	78.956,10 €
<b>Gesamtkosten pro Stk.</b>	0,67 €	0,70 €
<b>Vergleich der Gesamtkosten mit Verkaufspreis</b>	0,67 € <> 2,50 €	0,70 € <> 2,50 €
<b>Maschinenbedingte Stillstandzeiten</b>	53 h 20 min	45 h
<b>Beschaffungskosten</b>	608.000 €	

Die im Folgenden aufgelisteten Aufwände fließen als Kosten mit in die Beschaffungskosten der Ersatzalternative ein. Aus Punkt 2.2 lässt sich bereits entnehmen, dass die Beschaffungskosten zum einen aus den Kosten für die Aufwände und zum anderen aus dem Anschaffungspreis der Anlage zusammengesetzt werden. Diese Zusammensetzung wird in Tabelle 9 auf Seite 54 dargestellt werden.

## **Auflistung der Aufwände bei einem möglichen Maschinenersatz**

Die Aufwände, die bei einem möglichen Maschinenersatz entstehen, hängen von der Ausgangssituation ab. Sie lassen sich unterteilen in Aufwände vor dem eigentlichen Ersatz, während des Austauschs und bei der Inbetriebnahme der neuen Anlage. Steht ein Maschinenersatz fest muss vorher geplant werden, wie die Zeit des Produktionsausfalls während des Austauschs überbrückt wird. Im aktuellen Beispielszenario gibt es die Möglichkeit die Teile in einer dritten Schicht vorzuproduzieren. Dazu wird die Dauer des Ausfalls mit einem eingebauten Puffer angenommen und die Produktion der in dieser Zeit zu produzierenden Teile für die dritte Schicht geplant. Hierbei ist zu beachten, dass ein solcher Austausch nur „nebenbei“ in einem Unternehmen stattfinden kann. Das heißt die restliche Produktion läuft weitestgehend weiter und die Mitarbeiter arbeiten normal an ihren Aufgaben. Deshalb wäre es zu knapp für den Austausch nur den Zeitraum einer Arbeitswoche einzuplanen, da nicht jeder der gebrauchten Arbeitskräfte zu jeder Zeit verfügbar ist. Besser ist es den Zeitraum großzügiger zu planen, also zum Beispiel für zwei Arbeitswochen, sprich 10 Tage. Wenn für 10 Tage jeweils zwei Schichten wegfallen, in denen produziert werden kann, bedeutet dies, dass für 4 Wochen in einer dritten Schicht die Menge an Artikeln vorproduziert werden muss. Dabei handelt es sich um Nachtschichten, bei denen ein Nachtzuschlag an den bedienenden Werker gezahlt werden muss. Dieser bildet einen Bestandteil der Aufwandskosten. Zusätzlich müssen vorproduzierte Teile gelagert werden, was zu Lagerkosten führt.

Die Frage danach, was mit der Alt-Maschine nach einem Ersatz passiert, ist zunächst zu diskutieren und wird dann, je nachdem wie die Entscheidung ausfällt in die Aufwandskosten mit einberechnet. Die aktuelle Maschine hat einen Abschreibungszeitraum von 10 Jahren und ist jetzt das fünfte Jahr in Betrieb. Da sie nicht irreparabel defekt ist und auch keine rechtlichen Ursachen für das Ende der Nutzungsdauer vorliegen, besteht kein Grund sie zu verschrotten. Da zum aktuellen Zeitpunkt auch keine weitere betriebsinterne Verwendung der Anlage möglich ist, wird ein Wiederverkaufswert für die Anlage angesetzt.

Ein nächster Punkt der Aufwände betrifft den Austausch der Maschinen an sich. Da im Anwendungsbeispiel die Ersatzalternative ein der aktuellen Anlage relativ gleiches Modell darstellt, sind am Arbeitsplatz keine Umbaumaßnahmen zu treffen. Der Austausch würde über das Tor zum Lager mit entsprechendem Gerät erfolgen. Benötigt werden Mitarbeiter aus dem Werkzeugbau des Unternehmens, die die Demontage der Maschine vorbereiten und durchführen sowie die Elektriker, die die alte Maschine abklemmen

und die neue Maschine anschließen. Die Anlieferung der Ersatzalternative würde vom Hersteller durchgeführt werden. Der direkte Austausch in der Werkhalle muss durch eine externe Firma verrichtet werden. Diese hat einen Tagessatz von 1.000 €. Die Aufgaben dieser Firma beziehen sich auf den Transport der Alt-Maschine aus der Werkhalle auf den Lkw und das Platzieren der neuen Maschine auf ihrem Stellplatz. Dafür wird ein Zeitraum von zwei Tagen angesetzt. Die technische Einrichtung der neuen Maschine erfolgt durch Mitarbeiter der Herstellerfirma. Hinzugezogen wird die IT-Abteilung des Unternehmens, damit die Anlage mit der betriebsinternen Software gekoppelt wird. Bei der Inbetriebnahme stehen verschiedene Abnahmen an, eine Gefährdungsbeurteilung, die Anpassung der Arbeitspläne und die Einweisung der Mitarbeiter. In der folgenden Tabelle 9 werden die Aufwände bei einem eventuellen Maschinenersatz durch Kosten dargestellt.

Tabelle 9: Auflistung der Aufwands- und Beschaffungskosten

<b>Aufwände</b>	<b>Kosten</b>
Vorproduktion	+ 3.000 €
Verkauf Alt-Maschine	- 400.000 €
Austausch	+ 2.000 €
Inbetriebnahme Ersatzalternative	+ 5.000 €
<b>Gesamt</b>	- 390.000 €
<b>+ Anschaffungspreis Ersatzalternative</b>	+1.000.000 €
<b>Beschaffungskosten gesamt</b>	= 610.000 €

Die Vorproduktion wird in der Nachtschicht erfolgen, wodurch ein Nachtkostenzuschlag gezahlt werden muss. Außerdem fallen für die vorproduzierten Teile Lagerkosten an. Somit betragen die Aufwandskosten für die Vorproduktion insgesamt 3.000 €. Hinzu kommen Kosten für den Austausch der Maschinen, da neben den internen Mitarbeitern aus der Elektrik und Werkzeugbau sowie IT eine externe Firma für den Transport der Maschinen innerhalb der Werkhalle benötigt wird. Diese Firma hat einen Tagessatz von 1.000 €. Nachdem die Maschine soweit eingerichtet wurde, sind verschiedene Abnahmen durchzuführen. Die Kosten dafür belaufen sich auf 5.000 €. Der Mitarbeiter der Herstellerfirma, welcher die Inbetriebnahme der neuen Maschine unterstützt, ist im Beschaffungspreis der Ersatzalternative inbegriffen. Von den Aufwandskosten abgezogen



wird der Wiederverkaufswert der Alt-Maschine. Dieser hat eine Höhe von 400.000 €.  
Somit betragen die Gesamt-Beschaffungskosten 610.000 €.

#### **6.4 Schritt 3: Definition der Entscheidungskriterien und Erstellung der Entscheidungstabelle**

Nachdem der Teilkostenvergleich durchgeführt wurde, die Aufwände mit den dazugehörigen Kosten kalkuliert wurden und weitere Daten, wie in diesem Fall die Zeiten ermittelt wurden, werden daraus Kriterien für die Entscheidungstabelle definiert. Diese lauten für das hier angewandte Beispiel wie folgt:

1. Können durch den Maschinenersatz Kosten in der Fertigung eingespart werden?
2. Ist die Alt-Maschine störungsanfällig? Hat sie wesentlich längere maschinenbedingte Stillstandzeiten als die Ersatzalternative?
3. Produziert die Ersatzalternative schneller als die Alt-Maschine?
4. Stehen die Aufwände für einen Maschinenersatz in einem vertretbaren Verhältnis zum Nutzen?

Darüber hinaus werden aus den Gesichtspunkten bei einem möglichen Maschinenersatz aus Punkt 2.2 für das hier zu bearbeitende Beispiel die relevanten Aspekte ausgewählt und in die Entscheidungstabelle mit aufgenommen. Diese beziehen sich vor allem auf die dort diskutierten „Offenen Fragen“. Die wichtigsten Kriterien sind:

5. Ist der technische Stand der Alt-Maschine noch aktuell?
6. Wie ist die Ersatzteilbeschaffung für die Vergleichsanlagen geregelt?
7. Wäre der Ersatz der Maschine langfristig?
8. Werden Umwelt- oder Arbeitssicherheitsaspekte durch einen Maschinenersatz verbessert?

Die in Punkt 5.4 gezeigte Tabelle 5 wird nun analog übernommen und mit den Daten für das angewandte fiktive Beispiel ergänzt. Durch die Formulierung der Kriterien als Fragen, wird die Diskussion innerhalb des Entscheider-Teams angeregt. Die Spalten für die Bemerkungen dienen zur kurzen und prägnanten Angabe des Grundes, weshalb das Kriterium zu einer bestimmten Entscheidung geführt hat. Da im Excel-Tool auch die Tabellen mit dem Kostenvergleich oder der Auflistung der Aufwände vorhanden sind, bleibt auch die Entscheidungstabelle nachvollziehbar. Tabelle 10 stellt die letztendliche Entscheidungstabelle dar, die auch so im Excel-Tool vorhanden sein wird. Der Einfachheit wegen werden die Kriterien als Nummern (wie oben stehend) angegeben.

Tabelle 10: Aufbau Argumentationstabelle zur Entscheidungshilfe bei einem Maschinenersatz

<b>Entscheidungskriterien</b>	<b>Gewichtung</b>	<b>Alt-Maschine</b>	<b>Alternative</b>	<b>Bemerkungen</b>	<b>pro</b>	<b>kontra</b>
1.	20					
2.	20					
3.	5					
4.	15					
5.	5					
6.	15					
7.	10					
8.	10					
Gesamt	100%				NW	NW

### **Gewichtung**

Die Gewichtung der Kriterien ergeben insgesamt 100 %. Als wichtigste Kriterien sind die Kosten anzusehen und die Frage ob die aktuelle Maschine einen reibungslosen Ablauf der Prozesse gewährleistet. Sind durch eine Ersatzinvestition erheblich Kosten einzusparen, hat ein solcher Aspekt ein großes Gewicht bei der Entscheidungsfindung. Ebenso ist es bei der Störanfälligkeit. Wenn die Maschine immer wieder Störungen aufzeigt, sodass die Produktion immer wieder gestoppt werden muss, macht es wenig Sinn eine solche Anlage weiter zu betreiben, da die Instandhaltungs- und Reparaturkosten zu hoch werden würden. Aus diesen Gründen haben die Kriterien 1. und 2. eine Gewichtung von jeweils 20 erhalten. Dahinter kommt die Frage nach den Aufwänden, welche eine relativ wichtige Bedeutung für die Entscheidung hat. Wenn ein Maschinener-

satz einen großen Umbauaufwand in der Halle bedeuten würde, dann müsste die neue Maschine erhebliche Vorteile gegenüber der Alt-Maschine besitzen um große Aufwände zu rechtfertigen. Dies wäre nicht der Fall, wenn beispielsweise der Ersatz nicht sehr langfristig oder wenn eine neue Maschine finanziell nicht sehr viel vorteilhafter als die Alt-Maschine wäre. Demzufolge ist das Kriterium der Langfristigkeit einer Ersatz-Investition mit von Wichtigkeit wenn die Frage nach dem Aufwand-Nutzen-Verhältnis im Raum steht. Die Langfristigkeit einer Neuanschaffung lässt sich nur abschätzen, da unvorhergesehene Ereignisse in Zukunft stattfinden können. Bei der Betrachtung der Ausgangssituation in dem fiktiven Beispiel ist ersichtlich, dass die Produktion des besagten Teils auch in Zukunft noch einige Jahre weiterlaufen wird. Außerdem hat sich das Unternehmen auf die Produktion im Spritzgussbereich spezialisiert und von daher dürfte die Anschaffung einer Spritzgießmaschine, zumal einer Universalanlage, die auch für andere Produktionen eingesetzt werden kann, auf jeden Fall langfristig sein. Sollte sich bereits schon nach wenigen Jahren herausstellen, dass die Maschine nicht mehr gebraucht wird, kann sie sicherlich weiterverkauft werden, zumal es sich um eine Universalanlage handelt. Deshalb wird das Kriterium mit 10 gewichtet.

Wenn von der Langfristigkeit einer Anlage gesprochen wird, spielt die Ersatzteilbeschaffung eine vergleichbar wichtige Rolle, denn ein Ersatzteil muss meistens schnellstmöglich vorhanden sein. Durch Herstellergarantien ist es möglich, dass Ersatzteile in den ersten Jahren des Betriebs einer Anlage vom Hersteller übernommen und meist auch beschafft werden. Ist die Garantie abgelaufen, übernimmt das Unternehmen selbst die Beschaffung und auch die Kosten, wodurch die Instandhaltungskosten automatisch steigen. Bei einer Ersatz-Investition ist es von daher relevant darauf zu achten welche Garantien und Gewährleistungen gegeben sind.

In der untersten Gewichtungskategorie mit 5 sind zwei Kriterien eingeordnet. Dazu zählt die Frage: Produziert die Ersatz-Alternative schneller als die Alt-Maschine? Dieses Kriterium wird mit so einer geringen Gewichtung eingestuft, da der Maschinenersatz nicht wegen einer Produktionssteigerung stattfinden soll, jedoch im Allgemeinen nicht von Nachteil wäre, wenn die Ersatzalternative höhere Stückzahlen erreichen würde. Des Weiteren wird das Kriterium des technischen Standes der Alt-Maschine mit 5 gewichtet. Da diese Maschine erst 2017 angeschafft wurde, besitzt sie fünf Jahre später noch keine veraltete Technik. Somit kann dieser Punkt kein entscheidendes Kriterium für eine Anlagen-Ersatzinvestition darstellen. Die Umwelt-und Arbeitssicherheitsaspekte sind ebenfalls kein Hauptkriterium, denn eine Maschine, die die Arbeitsschutzrichtlinien

nicht erfüllt, darf ohnehin nicht eingesetzt werden. Dennoch sind Verbesserungen jeder Art im Bereich von Arbeitsbedingungen oder für den Umweltschutz zu begrüßen. Deshalb bekommt dieses Kriterium eine Gewichtung von 10.

Zusammenfassend ist noch zu erwähnen, dass die Gewichtungen je nach Anwendungsfall angepasst werden. Die hier festgelegten Gewichtungen richten sich nach dem fiktiven Beispielszenario.

## **6.5 Schritt 4: Bewertung und Entscheidung**

Im Folgenden werden die Kriterien aus Tabelle 10 unter Zuhilfenahme der gesammelten Daten sowie der Kostenrechnung diskutiert und bewertet. Als Ergebnis steht dann eine ausgefüllte Argumentationstabelle, in der in kurzen Worten Bemerkungen zu den jeweiligen Kriterien vorgenommen worden sind, wodurch eine Entscheidung über einen eventuellen Maschinenersatz gefällt werden kann.

### 1. Können durch den Maschinenersatz Kosten in der Fertigung eingespart werden?

Die in Tabelle dargestellten Kosten machen ersichtlich, dass die Ersatzalternative sogar insgesamt teurer wäre als die aktuelle Anlage. Gründe dafür liegen zu allererst in den Abschreibungen, da die Ersatzalternative einen höheren Anschaffungswert besitzt. Zusammen mit den höheren Energiepreisen verursachen die Abschreibungen die höheren Gesamtkosten. Daran können auch die im Einzelnen dagegen günstigeren Instandhaltungs- sowie Ausschusskosten keine Änderung vollziehen. Die Kosten pro Stück betragen bei der aktuellen Maschine 0,67 €. Bei der Produktion auf der Ersatzalternative wären es 3 ct mehr an Kosten. Für ein gesamtes Jahr gerechnet mit einer Auftragsmenge an 113.400 Stück würde das für das Unternehmen 3.402 € mehr an Maschinenkosten für die Herstellung des Produktes verursachen. Dieser Wert liegt noch im Rahmen des vertretbaren. Andernfalls ist die Überlegung zu treffen, ob der Verkaufspreis des hergestellten Produktes durch die Neuanschaffung der Maschine erhöht werden sollte. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch die Betrachtung des Teilkostenvergleichs allein keine Entscheidung über eine Ersatzinvestition getroffen werden kann. Gerade der Aspekt, dass die Energiekosten sogar höher anstatt wie erhofft niedriger sind, lässt eher von einem Ersatz absehen. Die Zukunft der Industrie wird mehr darauf abzielen den Energieverbrauch zu senken und da ist eine Maschine mit einem höheren

Verbrauch kontraproduktiv. Aus diesen Gründen fällt die Bewertung dieses Kriteriums gegen einen Maschinenersatz aus.

2. Ist die Alt-Maschine störungsanfällig? Hat sie wesentlich längere maschinenbedingte Stillstandzeiten als die Ersatzalternative?

Aufgrund einer geringeren Aufheizzeit bei der Ersatzalternative und weniger Stillständen durch unvorhergesehene Wartungsarbeiten, sind insgesamt weniger Stillstände bei der Ersatzalternative zu erwarten (vgl. Tabelle 8, S. 52). Demzufolge ist davon auszugehen, dass die Ersatzalternative weniger störanfällig ist als die Alt-Maschine.

3. Produziert die Ersatzalternative schneller als die Alt-Maschine?

Der betrachtete Musterauftrag ist für beide Maschinen derselbe. Die Parameter für den Prozess zur Herstellung der Teile bleiben somit unverändert. Dies hat zur Folge, dass auch die neue Maschine die Teile nicht schneller produzieren kann. Die Kapazität liegt bei der Alt-Maschine wie bei der Ersatzalternative deshalb bei 120 Stk/h. Das heißt wiederum eine Ersatzinvestition auf Basis einer gewünschten Produktionssteigerung wird eher nicht stattfinden können.

4. Stehen die Aufwände für einen Maschinenersatz in einem vertretbaren Verhältnis zum Nutzen?

In Zahlen gesehen sind die Aufwandskosten überschaubar. Zusätzlich werden durch den Verkauf der Alt-Maschine die Beschaffungskosten gemindert. Der Arbeitsaufwand an sich bleibt auch in einem geringen Maße. Für die neue Maschine müssen keine groben Umbaumaßnahmen durchgeführt werden. Die Arbeiten, die notwendig sind, stehen bei jedem Ersatz oder jeder Neuanschaffung an. Für den Transport der Maschinen wird eine externe Firma beauftragt. Das interne Personal wird ebenfalls mit involviert und die Einrichtung der Ersatzmaschine durch einen Mitarbeiter der Herstellerfirma unterstützt. Finanziell gesehen ist eine Ersatzinvestition eher zum aktuellen Zeitpunkt noch am günstigsten. Durch die Wertminderung der Alt-Maschine, wird in Zukunft kein so hoher Wiederverkaufswert zu erzielen sein. Auf der anderen Seite werden neue Anlagen im

Preis eher steigen. Aus diesem Grund sprechen die Aufwände nicht gegen einen Maschinenersatz. Im Gegenteil perspektivisch gesehen noch eher dafür.

#### 5. Ist der technische Stand der Alt-Maschine noch aktuell?

Die Alt-Maschine wurde im August 2017 angeschafft und ist aktuell das fünfte Jahr in Betrieb. Der Abschreibungszeitraum läuft 10 Jahre. Da im Vergleich die Ersatzalternative weder schneller produzieren kann, noch Energie gegenüber der Alt-Maschine einsparen kann, ist davon auszugehen, dass die Alt-Maschine sich noch auf einem aktuellen technischen Stand befindet bzw. die beiden Vergleichsmaschinen sich auf einem ähnlichen technischen Stand befinden. Des Weiteren ist erst die Hälfte der betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauer erreicht. Somit spricht dieses Kriterium nicht für eine Ersatzinvestition.

#### 6. Wie ist die Ersatzteilbeschaffung für die Vergleichsanlagen geregelt?

Da wie bereits erwähnt die Alt-Maschine bereits fünf Jahre in Betrieb ist, besteht vom Hersteller keine Garantie mehr auf Ersatzteile. Weil aber weiterhin der Austausch bestimmter Teile zu festgelegten Zeitpunkten vorgeschrieben ist, sind die Kosten dafür vom Unternehmen zu tragen. Außerdem wird die Beschaffung der Ersatzteile im Laufe der Jahre nicht einfacher und auch nicht preisgünstiger. Bei dem Hersteller der Ersatzalternative würde eine Garantie von fünf Jahren bestehen, durch die vertraglich die Beschaffung und Kostenübernahme für Ersatzteile durch den Hersteller festgeschrieben wird. Dadurch können Instandhaltungskosten eingespart werden.

#### 7. Wäre der Ersatz der aktuellen Maschine langfristig?

Bei der Ersatzalternative handelt es sich ebenso um eine Universalanlage mit einem Abschreibungszeitraum von zehn Jahren. Bei einer Anschaffung in diesem Jahr würde dies bedeuten, dass die betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer bis 2032 andauern würde. Hinzu käme die im Vertrag festgelegte Garantie. Bei der aktuellen Anlage läuft die Nutzungsdauer noch fünf Jahre, also bis 2027. Spätestens dann muss erneut darüber nachgedacht werden wie weiterverfahren wird. Einen weiteren Punkt stellt der universelle Einsatzbereich einer solchen Anlage dar. Auch wenn der hier im Beispiel darge-

stellte Musterauftrag irgendwann ausläuft, können durch Wechsel von Werkzeugen andere Spritzgussteile auf der Maschine gefertigt werden. In einem Unternehmen, welches sich auf Spritzguss spezialisiert hat, findet sich meistens eine Anwendung für eine Universal-Spritzgießmaschine. Das heißt am Ende, dass die Anschaffung einer solchen Anlage definitiv als langfristige Investition angesehen werden kann.

#### 8. Werden Umwelt- und Arbeitssicherheitsaspekte durch einen Maschinenersatz verbessert?

Beide Maschinen liegen in ihren Entwicklungen nicht allzu viele Jahre auseinander. Von dem her sind wie auch der technische Stand als auch Arbeitssicherheitsaspekte ähnlich. Für die Arbeitssicherheit gibt es zusätzlich gesetzliche Vorgaben, die eine solche Anlage erfüllen muss und ohne die die Maschine nicht betrieben werden dürfte. Bei den Umweltaspekten ist es sogar so, dass die Alternativanlage einen höheren Energieverbrauch vorweist. Deshalb bewirkt die Ersatzalternative keine Verbesserungen in diesen Aspekten. Sie ist eher, bis auf den Energieverbrauch, mit der aktuellen Maschine vergleichbar. Somit spricht dieser Punkt nicht für einen Maschinenersatz.



Tabelle 11: Bewertung der Entscheidungskriterien

Entscheidungskriterien	Ge- wich- tung	Alt- Maschine	Alternative	Bemerkungen	pro	kont- ra
1.	20	76.012,44 €	78.956,10 €	Maschinenbe- zogene Kosten sind bei der Al- ternativmaschi- ne höher auf- grund höherer Abschreibungen und Energiekos- ten		1
2.	20	53 h 20 min	45 h	Kürzere Still- standzeiten bei Alternativma- schine aufgrund geringerer Auf- heizzeit und Zeiten für IH	1	
3.	5	120 Stk/h	120 Stk/h	Aufgrund glei- cher Prozesspa- rameter keine schnellere Pro- duktion möglich		1
4.	15			Beschaffungs- kosten = 610.000 €	1	
5.	5			Ja		1
6.	15	Herstellerga- rantie abge- laufen	Hersteller- garantie für die ersten 5 Jahre		1	

Entscheidungskriterien	Gewichtung	Alt-Maschine	Alternative	Bemerkungen	pro	kontra
7.	10			Ja, da betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer 10 Jahre und Produktion langfristig gesichert	1	
8.	10			Nein, Energieverbrauch der Ersatzalternative sogar höher		1
Gesamt	100				60	40

Der Nutzwert wird in der Regel berechnet, indem pro Kriterium die Gewichtung mit der Bewertung zu einem sogenannten Score multipliziert wird. Danach werden alle Scores miteinander addiert und bilden so den Nutzwert. In der hier dargestellten modifizierten Nutzwertanalyse wird einmal der Nutzwert für die Pro-Seite und einmal für die Kontra-Seite berechnet. Dies sieht folgendermaßen aus:

**Pro:**

$$NW = (1 \times 20) + (1 \times 15) + (1 \times 15) + (1 \times 10) = 60$$

**Kontra:**

$$NW = (1 \times 20) + (1 \times 5) + (1 \times 5) + (1 \times 10) = 40$$

Aus der Berechnung der Nutzwerte wird deutlich, dass die Variante „Pro-Maschinenersatz“ mit 60 Punkten vorn liegt. Der Grund dafür liegt in der Verteilung der Argumente. Fast alle höher gewichteten Kriterien sprachen für einen Maschinenersatz. Lediglich das hoch gewichtete Kriterium der laufenden Kosten für die Ersatzalternative sprach dagegen. Dies lag vor allem an den höheren Energiekosten für die neue Anlage.

In Anbetracht der sich entwickelnden Energiepreise in Zukunft ist dies ein erheblicher Nachteil der Ersatzalternative. Auf der anderen Seite stehen jedoch die anderen Aspekte, die einen Maschinenersatz durchaus als sinnvoll erscheinen lassen. Dazu zählt neben den kürzeren Stillstandzeiten vor allem der Punkt der Aufwände. Der Kostenrechnung ist zu entnehmen, dass die Beschaffungskosten inklusive Umbau, Verkauf der Alt-Maschine sowie Inbetriebnahme insgesamt 608.000 € betragen. Dieser Betrag wird zum aktuellen Zeitpunkt noch am günstigsten sein, denn aufgrund der aktuellen und sich in Zukunft entwickelnden Marktsituation wird eine neuwertige Spritzgießmaschine im Preis steigen. Hinzu kommt die Wertminderung der Alt-Maschine, wodurch insgesamt die Beschaffungskosten in den nächsten Jahren steigen werden. Abgesehen von der finanziellen Seite ist es bei den Aufwänden von Vorteil, dass sie so gering wie möglich gehalten werden können, da keine großen Umbaumaßnahmen durchgeführt werden müssen.

Ein weiteres Argument, welches für den Ersatz der Alt-Maschine spricht, ist die Ersatzteilbeschaffung. Bei der Alt-Maschine sind Ersatzteile mittlerweile vom Unternehmen selbst zu zahlen. Bei der Ersatzalternative besteht die ersten fünf Jahre eine Garantie, wodurch Instandhaltungskosten eingespart werden können.

Schlussendlich lässt sich sagen, dass eine Ersatzinvestition durchaus von Vorteil ist. Die Mehrkosten, die die neue Maschine verursachen wird, liegen in einem vertretbaren Rahmen und können im Laufe der Nutzung eventuell reduziert werden. Im Gegenzug ist es möglich den Verkaufspreis der zu produzierenden Teile minimal anzuheben, sodass auch dadurch ein Ausgleich der Kosten erreicht werden kann. Gegenüber dem einen Punkt der Kosten, welcher gegen einen Maschinenersatz spricht, stehen mehrere wichtige Aspekte, die dafür sprechen. Somit fällt die Entscheidung nach ausreichender Diskussion darauf einen Anlagenersatz durchzuführen.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Im Zuge der hier verfassten Diplomarbeit wurde auf die ganzheitlichen Gesichtspunkte für eine Anlagen-Ersatzinvestition eingegangen. Mithilfe dieser gesammelten Vorüberlegungen wurde eine Methode entwickelt, mit welcher ein Entscheidungsprozess systematisch durchgeführt werden kann um auf dessen Grundlage eine Entscheidung zu treffen ob eine bestimmte Anlage ersetzt werden sollte oder nicht.

Um zu diesem Ergebnis zu gelangen, wurde in den ersten Punkten der Arbeit auf die Aspekte eingegangen, die zu einer Notwendigkeit einer Maschinenneubeschaffung führen. Hinzu kamen die verschiedenen Einflusskriterien, die in eine Entscheidung mit einbezogen werden müssen. Darunter zählen auf der einen Seite die finanziellen Faktoren. Im Punkt 2.2 wurden die verschiedenen Methoden der Investitionsrechnung kurz dargestellt. Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Anlagegütern können diese Verfahren eingesetzt werden um unter anderem den optimalen Zeitpunkt eines Ersatzes zu ermitteln. Für die in der Diplomarbeit dargestellte Anwendung wurden diese Rechenmethoden jedoch als nicht geeignet angesehen, da für eine praxisnahe Beurteilung einer bestehenden Anlage neben den wirtschaftlichen Betrachtungen auch die nicht monetären Aspekte mit einbezogen werden sollen. Außerdem war ein direkter Vergleich von zwei Anlagen zu einem bestimmten Zeitpunkt durch die gängigen Verfahren der Investitionsrechnung schwierig umzusetzen.

Der Entscheidung wurde aber dennoch eine Rechnung zugrunde gelegt. Dafür wurden die Fertigungskosten näher betrachtet und zwar speziell die Kosten, die eine Maschine während der Produktion verursacht. In diese Rechnung wurden die Abschreibungen, Instandhaltungskosten, Personalkosten, Energiekosten und Ausschusskosten mit aufgenommen. Zusätzlich zur Teilkostenrechnung wurden weitere Vergleichswerte der Maschinen betrachtet, so zum Beispiel Stillstandzeiten oder Produktionszeit für ein Teil sowie der Verkaufspreis der produzierten Teile. Weiterhin wurden die Kosten für die Aufwände bei der Durchführung eines Maschinenersatzes kalkuliert.

Damit der gesamte Entscheidungsprozess einen übersichtlichen Rahmen erhält und die ganzheitlichen Kriterien mit einbezogen werden konnten, wurde das Konzept ähnlich einer Nutzwertanalyse entwickelt. Darin enthalten war die Vorauswahl der möglichen Ersatzalternativen, die Kostenrechnung sowie Eingabe der für die Diskussion relevanten Daten der zu vergleichenden Maschinen und am Ende eine Argumentationstabelle.

In diese wurden die wichtigsten Einflusskriterien eingetragen, gewichtet, diskutiert und schlussendlich bewertet.

Zur Veranschaulichung des Konzeptes wurde ein fiktives Beispielszenario dargestellt. In diesem wurde der Entscheidungsprozess für eine Spritzgießmaschine modelliert. Anhand des Konzeptes zur Entscheidungsunterstützung wurde das Ergebnis erreicht, dass zum aktuellen Zeitpunkt eine Anlagen-Ersatzinvestition als sinnvoll angesehen wird. Die Hauptgründe, die diese Entscheidung beeinflussten, waren vor allem die Sicherheit bei einer neuen Maschine eine Garantie auf Ersatzteile zu haben. Weiterhin konnten die Beschaffungskosten durch den Verkauf der Alt-Maschine gut reduziert werden, nämlich von 1 Mio. € auf 610.000 €. In den nächsten Jahren wird so ein Beschaffungswert kaum noch zu erreichen sein. Durch Inflation und Lieferprobleme wird es ohnehin in Zukunft schwieriger sein Anlagen zu erwerben. Ebenso verhält es sich mit der Beschaffung von Ersatzteilen. Durch die Garantie wird erhofft, in dieser Richtung abgesicherter zu sein und schneller Ersatzteile zu erhalten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass dieses Konzept eine Unterstützung darstellt. Die im Zuge der Arbeit aufgebauten Schritte dienen zur Orientierung bei der Gestaltung eines Entscheidungsprozesses für eine Anlagen-Ersatzinvestition. Durch die Methode ist es möglich als Anwender systematisch vorzugehen und sämtliche Kriterien, die in eine solche Entscheidung einfließen, mit aufzunehmen und zu diskutieren. Der gesamte Prozess kann dabei in einem Team von Entscheidern durchgeführt werden und die Ergebnisse dokumentiert werden, sodass sie für jeden Teilnehmer und auch für Dritte nachvollziehbar sind. Durch die Anwendung des Excel-Tools lässt sich der Entscheidungsprozess schnell und unkompliziert realisieren. Es ist zu erwähnen, dass sowohl die Schritte des Konzeptes als auch das Excel-Tool individuell an den jeweiligen Fall angepasst werden können. Außerdem wäre es sinnvoll das Konzept nicht nur einmalig anzuwenden, sondern zum Beispiel in jedem Geschäftsjahr. Die Überprüfung der sich in Betrieb befindlichen Maschine in regelmäßigen Zeitabständen ermöglicht es einen Überblick zu verschaffen, inwiefern eine Ersatzinvestition sinnvoll wäre.

Erweiterungen der hier erarbeiteten Methode sind ebenfalls möglich. Bisher ist das Konzept darauf ausgelegt nur Anlagen zu vergleichen, die gleichen Typs sind, die die gleiche Fertigung umfassen. Interessant wäre ein Konzept auf der Basis des hier dargestellten, welches beispielsweise den Schritt von der manuellen zur automatisierten Fertigung berücksichtigt. Dort hinein könnte ebenfalls eine Art Entscheidungstabelle gefügt werden, in der diskutiert wird welche Vor- und Nachteile beide Fertigungsarten

hätten. Daneben könnte ebenfalls eine Kostenrechnung in Zahlen ausdrücken, welche der beiden Arten aus finanzieller Sicht besser geeignet wäre.

Eine weitere mögliche Modifikation könnte die Umstellung von Prozessen umfassen. Somit könnte überprüft werden ob neue Maschinen benötigt werden, wenn andere Teile produziert werden sollen oder eine Veränderung der Stückzahlen vorgenommen wird.

## Literaturquellen

- /GÖTZ-14/ Götze, U.: Investitionsrechnung – Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben. Springer Gabler Verlag, Berlin, Heidelberg, 2014
- /BMF-21/ Bundesministerium der Finanzen: AfA-Tabellen  
URL:  
[https://www.bundesfinanzministerium.de/Web/DE/Themen/Steuern/Steuerverwaltung-Steuerrecht/Betriebspruefung/AfA\\_Tabellen/afa\\_tabellen.html](https://www.bundesfinanzministerium.de/Web/DE/Themen/Steuern/Steuerverwaltung-Steuerrecht/Betriebspruefung/AfA_Tabellen/afa_tabellen.html)  
Stand: 10.11.2021
- /GABL-04/ Alisch, K., Arentzen, U., Dr. Winter, E.: Gabler Wirtschaftslexikon. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden, 2004
- /SCHLINK-17/ Schlink, H.: Wirtschaftlichkeitsrechnung für Ingenieure. Springer Fachmedien; Wiesbaden, 2017
- /HAUFE-20/ Bleiber, R.: Haufe Finance Office Premium: Fertigungskosten  
URL: [https://www.haufe.de/finance/haufe-finance-office-premium/fertigungskosten\\_idesk\\_PI20354\\_HI573033.html](https://www.haufe.de/finance/haufe-finance-office-premium/fertigungskosten_idesk_PI20354_HI573033.html)  
Stand: 04.01.2022
- /FRIEDL-10/ Dr. Friedl, B.: Kostenrechnung – Grundlagen, Teilrechnungen und Systeme der Kostenrechnung. Oldenburg Wissenschaftsverlag GmbH, München, 2010
- /KÜBL-21/ Kübler, C.: Die neue CO<sub>2</sub>-Steuer: Was bedeutet sie für Ihr Unternehmen?  
URL:  
<https://www.kuebler-hallenheizungen.de/de/neue-co2-steuer-bedeutung/>  
Stand: 14.01.2022
- /BWL-22/ BWL-Lexikon  
URL:  
<https://www.bwl-lexikon.de/>  
Stand: 19.01.2022
- /BGB/ Bürgerliches Gesetzbuch: Recht der Schuldverhältnisse  
URL: <https://www.buergerliches-gesetzbuch.info/>  
Stand 08.06.2022
- /WIEN-20/ Wiendahl, H-P., Wiendahl H-H.: Betriebsorganisation für Ingenieure  
Carl Hanser Verlag, München, 2020

- /WANNE-10/ Wannenwetsch, H.: Integrierte Materialwirtschaft und Logistik - Beschaffung, Logistik, Materialwirtschaft und Produktion. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010
- /HERB-99/ Müller-Herbers, S.: Methoden zur Beurteilung von Varianten. Institut für Grundlagen der Planung, Stuttgart, 1999  
URL:  
<https://www.yumpu.com/de/document/read/7393861/methoden-zur-beurteilung-von-varianten-institut-fur-grundlagen-der->  
Stand: 09.02.2022
- /LAUX-12/ Laux, H.; Gillenkirch, R.; Schenk-Mathes, H.: Entscheidungstheorie. Springer Gabler Verlag, Berlin, Heidelberg, 2012
- /MEIER-02/ Meier, M.: Auswählen und Bewerten, the key to innovation. ETH Zürich, 2002  
URL:  
<https://www.research-collection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/146166/eth-25112-01.pdf>;  
Stand: 11.02.2022
- /PAHL-05/ Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K. H.: Konstruktionslehre – Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung – Methoden und Anwendung. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2005
- /WINTER-14/ Winter, S.: Management und Lieferanteninnovationen. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2014
- /KNESE-19/ Knese, D.: Integration der Elektromobilität in die Stadtplanung und Straßenraumgestaltung – Lösungsansätze für Strategien, Konzepte und Maßnahmen. Universität Kassel, 2019  
URL:  
[https://www.google.de/books/edition/Integration\\_der\\_Elektromobilit%C3%A4t\\_in\\_die/TLuPDwAAQBAJ?hl=de&gbpv=1&dq=formalisierte+bewertungsverfahren&pg=PA39&printsec=frontcover](https://www.google.de/books/edition/Integration_der_Elektromobilit%C3%A4t_in_die/TLuPDwAAQBAJ?hl=de&gbpv=1&dq=formalisierte+bewertungsverfahren&pg=PA39&printsec=frontcover)  
Stand: 25.03.2022
- /KÜHN-21/ Kühnapfel, J. B.: Scoring und Nutzwertanalysen – Ein Leitfaden für die Praxis. Springer Fachmedien GmbH, Wiesbaden, 2021
- /MASCH-22/ o.V.: Maschinenbau-Wissen.de: Aufbau und Funktionsweise einer Spritzgießmaschine  
URL:  
<https://www.maschinenbau-wissen.de/skript3/werkstofftechnik/kunststoffe/391-aufbau-spritzgiessmaschine>  
Stand: 05.05.2022



- /ABTS-20/ Abts, G.: Kunststoff-Wissen für Einsteiger – Grundlagen, Eigenschaften und Recycling polymerer Werkstoffe. Carl Hanser Verlag, München, 2020  
URL:  
<https://www.hanser-elibrary.com/doi/epdf/10.3139/9783446465251>  
Stand: 06.05.22
- /WEIDPLAS-22/ Bereitgestellte Maschinendaten zum Aufbau eines fiktiven Beispiels durch WEIDPLAS Germany GmbH Treuen
- /BDEW-22/ Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: Strompreisanalyse April 2022.  
URL:  
<https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-strompreisanalyse/>  
Stand: 06.05.22

## Verzeichnis der Anlagen

		<b>Seiten</b>
Anlage 1	Instandhaltungskosten Alt-Maschine	1
Anlage 2	Stillstände der Alt-Maschine	4
Anlage 3	Energieverbrauch Alt-Maschine	1
Anlage 4	Allgemeine Daten Alt-Maschine	1
Anlage 5	Excel-Tool zur Entscheidungsunterstützung bei einer Anlagen-Ersatzinvestition	4

## Anlage 1: Instandhaltungskosten Alt-Maschine

Standortwerk	Auftragsart	Auftrag	Meldung	Kurztext	Bezeichnung technisches Objekt	Eckstarttermin	Eckendtermin	Wartungsplan	Zyklus	Einheit	Gesamtkosten Ist	Währung
4311	ZM01	4135779	10367279	MA43 - SGM Schlauchpakettausch Hydraulik	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	03.05.2021	12.05.2021	4691	6	JHR	15.998,50	EUR
4311	ZM01	4131423	10362954	MA43 - SGM Überprüfung / Ausrichtung SGM	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	25.01.2021	25.01.2021	4472	1	JHR	0,00	EUR
4311	ZM01	4135318	10366818	MA43 - SGM Überprüfung / Ausrichtung SGM	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	19.11.2021	19.11.2021	4472	1	JHR	0,00	EUR
4311	ZM01	4133204	10364705	MA43 - SGM Tausch / Reinigung Ölfilter	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	04.01.2021	04.01.2021	4424	183	TAG	123,00	EUR
4311	ZM01	4135394	10366894	MA43 - SGM Tausch / Reinigung Ölfilter	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	23.02.2021	23.02.2021	4424	183	TAG	0,00	EUR
4311	ZM01	4137455	10368945	MA43 - SGM Tausch / Reinigung Ölfilter	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	15.12.2021	15.12.2021	4424	183	TAG	0,00	EUR
4311	ZM01	4137548	10369038	MA43 - SGM Tausch / Reinigung Ölfilter	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	12.08.2021	12.08.2021	4424	183	TAG	123,00	EUR
4311	ZM01	4135086	10366586	MA43 - SGM Service	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	04.01.2021	04.01.2021	4423	8	WCH	164,00	EUR
4311	ZM01	4135670	10367170	MA43 - SGM Service	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	14.03.2021	14.03.2021	4423	8	WCH	184,50	EUR
4311	ZM01	4136325	10367815	MA43 - SGM Service	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	18.04.2021	18.04.2021	4423	8	WCH	246,00	EUR
4311	ZM01	4136841	10368331	MA43 - SGM Service	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	21.06.2021	21.06.2021	4423	8	WCH	246,00	EUR
4311	ZM01	4137388	10368878	MA43 - SGM Service	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	16.08.2021	16.08.2021	4423	8	WCH	205,00	EUR
4311	ZM01	4137931	10369421	MA43 - SGM Service	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	13.10.2021	13.10.2021	4423	8	WCH	246,00	EUR
4311	ZM01	4138376	10369866	MA43 - SGM Service	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	05.12.2021	12.12.2021	4423	8	WCH	164,00	EUR
4311	ZM01	4133377	10364880	MA43 - SGM Ölanalyse	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	26.07.2021	26.07.2021	4422	1	JHR	0,00	EUR
4311	ZM01	4134546	10366056	MA43 - SGM Jahreswartung Krauss - Maffei	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	26.08.2021	27.08.2021	4421	1	JHR	1.575,81	EUR
4311	ZM01	4135411	10366911	MA43 - Fehler Zentralschmierung	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	04.01.2021	04.01.2021				51,25	EUR
4311	ZM01	4135552	10367052	MA43 - Installation DFR für FWAP	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	12.01.2021	26.01.2021				1.599,81	EUR
4311	ZM01	4135692	10367192	MA43 - BWAP Temp. n.i.O. (51534)	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	22.01.2021	22.01.2021				41,00	EUR
4311	ZM01	4135810	10367310	MA43 - BWAP/FWAP Überholung DFM	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	02.02.2021	03.02.2021				225,50	EUR
4311	ZM01	4135811	10367311	MA43 - FWAP Überholung Hzg.-Kabel	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	02.02.2021	02.02.2021				143,50	EUR
4311	ZM01	4135815	10367315	MA43 - Auffüllung Zentralschmierung	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	02.02.2021	02.02.2021				20,50	EUR
4311	ZM01	4136381	10367871	MA43 - Leckage Temperiergerät	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	23.03.2021	23.03.2021				61,50	EUR
4311	ZM01	4136382	10367872	MA43 - Reinigung Wasserfilter	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	23.03.2021	23.03.2021				20,50	EUR
4311	ZM01	4136490	10367980	MA43 - Reinig. Schlammabscheider	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	07.04.2021	31.12.2022				155,25	EUR
4311	ZM01	4136557	10368047	MA43 - 51537 KZ-Signale n.i.O.	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	12.04.2021	12.04.2021				61,50	EUR
4311	ZM01	4136642	10368133	MA43 - Temperierung n.i.O. (51534)	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	22.04.2021	22.04.2021				20,50	EUR
4311	ZM01	4136759	10368250	MA43 - 51534 keine KZ-Signale	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	04.05.2021	04.05.2021				41,00	EUR
4311	ZM01	4136817	10368307	MA43 - AW-Signal n.i.O. (51527)	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	07.05.2021	07.05.2021				41,00	EUR
4311	ZM01	4136829	10368319	MA43 - Tausch Ansaugschläuche Pumpen	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	11.05.2021	11.05.2021				777,64	EUR
4311	ZM01	4136890	10368380	MA43 - FWAP Durchfluß n.i.O. (51537)	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	17.05.2021	17.05.2021				41,00	EUR
4311	ZM01	4137001	10368491	MA43 - Störung SHS	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	28.05.2021	28.05.2021				410,00	EUR
4311	ZM01	4137019	10368509	MA43 - Ölleckage unter AG1	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	02.06.2021	03.06.2021				102,50	EUR
4311	ZM01	4137285	10368775	MA43 - AG1 Heizband defekt	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	28.06.2021	09.07.2021				410,47	EUR
4311	ZM01	4137295	10368785	MA43 - Tausch Pumpeneinheit G01/02	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	02.07.2021	08.11.2021				10.242,10	EUR
4311	ZM01	4138243	10369733	MA43 - Ölleckage	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	12.10.2021	12.10.2021				41,00	EUR
4311	ZM01	4138512	10370003	MA43 - AG2 Düsenanpressdr. n.i.O.	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	08.11.2021	09.11.2021				533,00	EUR
4311	ZM01	4138520	10370011	MA43 - Tausch Pumpe G03	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	09.11.2021	16.11.2021				2.136,53	EUR
4311	ZM01	4138826	10370306	MA43 - Stäubli undicht	MA43 - SGM Krauss-Maffei 1600.402 (43)	10.12.2021	10.12.2021				20,50	EUR

## Anlage 2: Stillstände der Alt-Maschine

Monat		Jan	Jan	Feb	Feb	Mrz	Mrz
Maschine	Stillstandsgrund	Stillstandszeit (h)	Count	Stillstandszeit (h)	Count	Stillstandszeit (h)	Count
<b>Total</b>		<b>302:31:31</b>	<b>355</b>	<b>251:44:02</b>	<b>462</b>	<b>329:50:53</b>	<b>279</b>
1600402 (MA 43)	<b>Total</b>	<b>302:31:31</b>	<b>355</b>	<b>251:44:02</b>	<b>462</b>	<b>329:50:53</b>	<b>279</b>
1600402 (MA 43)	kein Auftrag	277:43:36	71	211:21:50	57	303:05:16	72
1600402 (MA 43)	Verpackung fehlt	-	-	1:00:21	3	9:00:23	8
1600402 (MA 43)	Mangel interne Gebinde	-	-	-	-	-	-
1600402 (MA 43)	Aufheizen	1:36:19	27	1:52:20	33	2:11:17	34
1600402 (MA 43)	Störung Peripherie /Greifer	5:32:40	47	12:07:41	91	3:16:55	36
1600402 (MA 43)	Reparatur WZU	1:31:01	9	4:18:06	6	-	-
1600402 (MA 43)	Rüsten Peripherie	-	-	-	-	-	-
1600402 (MA 43)	Werkzeugservice	5:53:06	18	6:32:16	23	5:18:40	20
1600402 (MA 43)	Wartung ST	-	-	-	-	-	-
1600402 (MA 43)	Reparatur ST	0:29:02	2	1:24:19	7	0:20:03	1
1600402 (MA 43)	Unbegründet	4:00:34	97	4:09:31	129	1:38:07	46
1600402 (MA 43)	Fachpers. fehlt	-	-	-	-	-	-
1600402 (MA 43)	Störung Werkzeug	1:01:18	8	3:03:15	17	0:38:12	3
1600402 (MA 43)	Qualität mangelhaft	-	-	0:10:17	3	0:04:46	1
1600402 (MA 43)	Störung Maschine	0:47:01	8	0:49:36	11	0:32:06	7
1600402 (MA 43)	Kleinstillstand	1:41:43	53	0:08:52	62	0:04:24	36
1600402 (MA 43)	Rüsten	2:15:11	15	4:45:38	20	3:40:44	15
1600402 (MA 43)	Schichtpers. fehlt	-	-	-	-	-	-

	Monat	Apr	Apr	Mai	Mai	Jun	Jun
Maschine	Stillstandsgrund	Stillstandszeit (h)	Count	Stillstandszeit (h)	Count	Stillstandszeit (h)	Count
<b>Total</b>		<b>427:58:12</b>	<b>256</b>	<b>520:21:45</b>	<b>247</b>	<b>357:02:29</b>	<b>572</b>
1600402 (MA 43)	<b>Total</b>	<b>427:58:12</b>	<b>256</b>	<b>520:21:45</b>	<b>247</b>	<b>357:02:29</b>	<b>572</b>
1600402 (MA 43)	kein Auftrag	387:19:30	76	502:14:05	84	314:55:21	109
1600402 (MA 43)	Verpackung fehlt	1:10:07	1	-	-	0:04:17	1
1600402 (MA 43)	Mangel interne Gebinde	-	-	-	-	0:18:32	5
1600402 (MA 43)	Aufheizen	0:18:00	8	1:06:53	19	1:38:06	31
1600402 (MA 43)	Störung Peripherie /Greifer	3:50:57	26	3:08:42	32	14:00:08	95
1600402 (MA 43)	Reparatur WZU	26:45:29	13	-	-	3:22:42	2
1600402 (MA 43)	Rüsten Peripherie	-	-	-	-	-	-
1600402 (MA 43)	Werkzeugservice	2:43:10	10	3:13:03	16	5:51:03	18
1600402 (MA 43)	Wartung ST	-	-	0:11:04	1	-	-
1600402 (MA 43)	Reparatur ST	-	-	5:27:37	11	1:09:48	7
1600402 (MA 43)	Unbegründet	1:00:48	39	0:25:09	17	3:03:27	100
1600402 (MA 43)	Fachpers. fehlt	-	-	-	-	0:15:03	2
1600402 (MA 43)	Störung Werkzeug	1:18:24	7	-	-	3:39:49	20
1600402 (MA 43)	Qualität mangelhaft	0:17:59	10	0:35:17	3	1:42:38	23
1600402 (MA 43)	Störung Maschine	0:37:59	4	1:05:52	10	1:35:39	20
1600402 (MA 43)	Kleinstillstand	0:28:37	51	0:09:11	37	0:13:16	111
1600402 (MA 43)	Rüsten	2:07:12	11	2:44:52	17	5:12:40	28
1600402 (MA 43)	Schichtpers. fehlt	-	-	-	-	-	-

	Monat	Jul	Jul	Aug	Aug	Sep	Sep
Maschine	Stillstandsgrund	Stillstandszeit (h)	Count	Stillstandszeit (h)	Count	Stillstandszeit (h)	Count
<b>Total</b>		<b>403:02:35</b>	<b>636</b>	<b>568:21:48</b>	<b>222</b>	<b>419:00:00</b>	<b>505</b>
1600402 (MA 43)	<b>Total</b>	<b>403:02:35</b>	<b>636</b>	<b>568:21:48</b>	<b>222</b>	<b>419:00:00</b>	<b>505</b>
1600402 (MA 43)	kein Auftrag	363:30:11	91	559:21:58	103	380:28:46	74
1600402 (MA 43)	Verpackung fehlt	0:57:39	1	-	-	0:15:46	1
1600402 (MA 43)	Mangel interne Gebinde	-	-	-	-	-	-
1600402 (MA 43)	Aufheizen	0:49:12	18	-	-	2:58:09	21
1600402 (MA 43)	Störung Peripherie /Greifer	15:35:04	141	5:18:51	45	15:38:55	117
1600402 (MA 43)	Reparatur WZU	-	-	-	-	0:35:19	1
1600402 (MA 43)	Rüsten Peripherie	0:33:12	2	-	-	1:42:27	9
1600402 (MA 43)	Werkzeugservice	5:17:36	33	1:36:15	7	3:57:15	19
1600402 (MA 43)	Wartung ST	-	-	-	-	-	-
1600402 (MA 43)	Reparatur ST	4:57:57	20	-	-	1:51:38	10
1600402 (MA 43)	Unbegründet	3:54:02	149	1:06:09	41	4:46:02	153
1600402 (MA 43)	Fachpers. fehlt	-	-	-	-	1:45:03	3
1600402 (MA 43)	Störung Werkzeug	1:29:15	10	0:18:39	2	1:10:26	13
1600402 (MA 43)	Qualität mangelhaft	1:25:44	22	0:02:24	2	0:18:53	3
1600402 (MA 43)	Störung Maschine	1:01:18	6	-	-	1:10:28	7
1600402 (MA 43)	Kleinstillstand	0:21:44	134	0:30:56	21	0:10:46	63
1600402 (MA 43)	Rüsten	2:26:37	7	0:06:36	1	2:10:07	11
1600402 (MA 43)	Schichtpers. fehlt	0:43:04	2	-	-	-	-

	Monat	Okt	Okt	Nov	Nov	Dez	Dez
Maschine	Stillstandsgrund	Stillstandszeit (h)	Count	Stillstandszeit (h)	Count	Stillstandszeit (h)	Count
<b>Total</b>		<b>338:25:35</b>	<b>522</b>	<b>242:39:30</b>	<b>551</b>	<b>554:22:19</b>	<b>209</b>
1600402 (MA 43)	<b>Total</b>	<b>338:25:35</b>	<b>522</b>	<b>242:39:30</b>	<b>551</b>	<b>554:22:19</b>	<b>209</b>
1600402 (MA 43)	kein Auftrag	303:26:47	72	182:21:13	63	544:25:29	75
1600402 (MA 43)	Verpackung fehlt	-	-	-	-	-	-
1600402 (MA 43)	Mangel interne Gebinde	-	-	-	-	-	-
1600402 (MA 43)	Aufheizen	1:14:02	13	4:09:36	41	1:23:24	18
1600402 (MA 43)	Störung Peripherie /Greifer	13:42:32	128	9:39:37	103	2:54:39	24
1600402 (MA 43)	Reparatur WZU	-	-	6:26:42	9	-	-
1600402 (MA 43)	Rüsten Peripherie	-	-	-	-	0:25:40	1
1600402 (MA 43)	Werkzeugservice	4:24:31	19	6:57:27	27	2:01:30	9
1600402 (MA 43)	Wartung ST	-	-	1:10:29	3	-	-
1600402 (MA 43)	Reparatur ST	1:12:28	12	1:05:49	1	-	-
1600402 (MA 43)	Unbegründet	5:05:05	168	6:06:31	136	1:05:13	39
1600402 (MA 43)	Fachpers. fehlt	-	-	-	-	-	-
1600402 (MA 43)	Störung Werkzeug	0:21:05	4	4:54:19	9	1:15:53	11
1600402 (MA 43)	Qualität mangelhaft	1:43:21	13	0:21:47	2	-	-
1600402 (MA 43)	Störung Maschine	0:38:20	14	14:39:44	45	-	-
1600402 (MA 43)	Kleinstillstand	0:17:20	63	0:19:16	84	0:04:07	27
1600402 (MA 43)	Rüsten	5:20:21	14	4:27:00	28	0:46:24	5
1600402 (MA 43)	Schichtpers. fehlt	0:59:43	2	-	-	-	-



### Anlage 3: Energieverbrauch Alt-Maschine

Datum	Bewertungs-Monat	Strom SGM 43 Antrieb	Strom SGM 43 Heizung
<b>Zähler-ID</b>		E29	E30
<b>Zählerdaten-Typ</b>		Energiemengen	Energiemengen
<b>Zählerdaten-Einheit</b>		kWh	kWh
01.02.2020	Januar	7.061	7.855
01.03.2020	Februar	10.406	11.494
01.04.2020	März	6.829	7.266
01.05.2020	April	1	1
01.06.2020	Mai	2.554	2.633
01.07.2020	Juni	6.320	7.256
01.08.2020	Juli	9.614	10.673
01.09.2020	August	7.072	7.984
01.10.2020	September	9.241	9.839
01.11.2020	Oktober	11.774	11.857
01.12.2020	November	10.364	11.412
01.01.2021	Dezember	6.545	7.533
01.02.2021	Januar	9.342	10.474
01.03.2021	Februar	9.006	9.896
01.04.2021	März	9.088	9.703
01.05.2021	April	6.607	7.169
01.06.2021	Mai	4.643	4.862
01.07.2021	Juni	8.472	8.836
01.08.2021	Juli	7.702	8.244
01.09.2021	August	3.927	4.324
01.10.2021	September	6.799	7.051
01.11.2021	Oktober	8.553	9.586
01.12.2021	November	10.485	11.516
01.01.2022	Dezember	4.025	4.631



## Anlage 4: Allgemeine Daten Alt-Maschine



Anlage 5: Excel-Tool zur Entscheidungsunterstützung bei einer Anlagen-Ersatzinvestition

Vorauswahl der Ersatzalternativen

	Alternative				
	1	2	3	4	5
Bezeichnung					
Anforderung					
Horizontale Bauweise	1	1	0	1	1
Kriterium 2	1	0	0	1	1
Stellfläche inklusive Peripherie max. 12 x 12 m	1	1	0	1	1
Maximales Gewicht 80t	0	1	1	1	1
Maximaler Anschaffungspreis 1,2 Mio.	1	1	1	0	1
kompatibles Software-System?	0	0	0	1	1
Entscheidung	0	0	0	0	1

## Dateneingabe

### Allgemeine Daten

	Alt-Maschine	Ersatzalternative
<b>Anschaffungswert</b>	798.343,80 €	1.000.000,00 €
<b>Nutzungsdauer in Jahre</b>	10	10
<b>Abschreibung pro Jahr</b>	78.690,00 €	100.000,00 €
<b>Anschaffungsdatum</b>	31.08.2017	2022
<b>Auftragsstückzahl</b>		
<b>Musterauftrag</b>	113.400	113.400
<b>Kapazität pro Stunde</b>	120	120
<b>Ausschussrate in %</b>	1,8	1,5
<b>Angebotspreis pro Stück</b>	2,50 €	2,50 €
<b>Produktionszeit</b>		
<b>Musterauftrag in h</b>	945	945
<b>Energieverbrauch in kWh</b>		
<b>einem Jahr</b>	184.941	204.000
<b>Stundensatz</b>		
<b>Bedienpersonal</b>	32,00 €	32,00 €
<b>Strompreis in ct/kWh</b>	21,38	21,38

### Vergleichswerte pro Musterauftrag

	Alt-Maschine	Ersatzalternative
<b>Abschreibungen</b>	19.672,50 €	25.000,00 €
<b>Instandhaltungskosten</b>	9.118,34 €	6.500,00 €
<b>Energiekosten</b>	9.885,00 €	10.903,80 €
<b>Personalkosten</b>	32.640,00 €	32.640,00 €
<b>Ausschusskosten</b>	4.696,60 €	3.912,30 €
<b>Sonstige Kosten</b>	-	-
<b>Gesamtkosten</b>	76.012,44 €	78.956,10 €
<b>Gesamtkosten pro Stück</b>	0,67 €	0,70 €
<b>Vergleich</b>		
<b>Gesamtkosten mit Verkaufspreis</b>	0,67€ <> 2,50€	0,70€ <> 2,50€
<b>Maschinenbedingte Stillstandzeiten</b>	53 h 20 min	45 h

## Aufwandskosten und Beschaffungskosten

Aufwände	Kosten
Vorproduktion	3.000,00 €
Verkauf	
Alt-Maschine	400.000,00 €
Austausch	2.000,00 €
Inbetriebnahme	5.000,00 €
Gesamt	- 390.000,00 €
Anschaffungspreis	
Ersatzalternative	1.000.000,00 €
Gesamt	610.000,00 €

## Entscheidungstabelle

Entscheidungskriterien	Gewichtung	Alt-Maschine	Ersatzalternative	Bemerkungen	Pro	Kontra
Können durch den Maschinenersatz Kosten in der Fertigung eingespart werden?	20	76.012,44 €	78.956,10 €	maschinenbezogene Kosten sind bei der Alternativmaschine höher aufgrund höherer Abschreibungen und Energiekosten		1
Ist die Alt-Maschine störungsanfällig? Hat sie wesentlich längere maschinenbedingte Stillstandzeiten als die Ersatzalternative?	20	53 h 20 min	45 h	kürzere Stillstandzeiten bei Alternativmaschine aufgrund geringerer Aufheizzeit und Zeiten für IH	1	
Produziert die Ersatzalternative schneller als die Alt-Maschine?	5	120 Stk/h	120 Stk/h	Aufgrund gleicher Prozessparameter keine schnellere Produktion möglich		1
Stehen die Aufwände für einen Maschinenersatz in einem vertretbaren Verhältnis zum Nutzen?	15			Beschaffungskosten = 610.000 €	1	
Ist der technische Stand der Alt-Maschine noch aktuell?	5			Ja		1
Wie ist die Ersatzteilbeschaffung für die Vergleichsanlagen geregelt?	15	Herstellergarantie abgelaufen	Herstellergarantie für die ersten 5 Jahre		1	
Wäre der Ersatz der Maschine langfristig?	10			Ja, da betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer 10 Jahre und Produktion langfristig gesichert	1	
Werden Umwelt- oder Arbeitssicherheitsaspekte durch einen Maschinenersatz verbessert?	10			Nein, Energieverbrauch der Ersatzalternative sogar höher		1
<b>Gesamt</b>	<b>100</b>				<b>60</b>	<b>40</b>