

Horst Hautz

***Auswahl des optimalen Steuerungssystems
für Karussell-Siebdruckmaschinen***

eingereicht als

DIPLOMARBEIT

an der



Fachbereich Wirtschaftswissenschaften

Ellmau, 2011

Erstprüfer: Prof. Dr. Volker Tolkmitt

Zweitprüfer: Prof. Dr. Johannes N. Stelling

Vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am: _____

Formales:

Der Verfasser weist darauf hin, dass bei allen personenbezogenen Formulierungen wegen der besseren Lesbarkeit des Textes auf das Nebeneinander von „weiblicher“ und „männlicher“ Form verzichtet wurde. Es gilt selbstverständlich in jedem dieser Fälle genauso die jeweils andere Form.

Bibliografische Beschreibung:

Hautz, Horst:

Auswahl des optimalen Steuerungssystems für Karussell-Siebdruckmaschinen. Hochschule Mittweida, Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, Diplomarbeit Wirtschaftsingenieurwesen, 2011, 83 Seiten.

Referat:

Für die Steuerung von Karussell-Siebdruckmaschinen sollte das optimale Steuerungssystem definiert werden. Die mögliche Bandbreite reichte dabei vom Zukauf eines standardisierten Produkts bis zur Eigenentwicklung mit Eigenfertigung. Neben den Kosten wurden weitere, zum Teil subjektiv zu bewertende Kriterien der möglichen Systeme untersucht und gegenübergestellt. Zur Steigerung der Akzeptanz erfolgten Teile des Entscheidungsprozesses in Gruppen. Als Entscheidungsverfahren wurde aufgrund der hohen Transparenz sowie der einfachen Handhabung die Nutzwertanalyse gewählt. Sieger des Entscheidungsprozesses wurde relativ eindeutig eine firmenspezifische Hardware mit erweiterter Funktionalität. Dadurch können die unterschiedlichen Wünsche und Bedürfnisse aller betroffenen Bereiche und Personen am besten abgedeckt werden.

Gliederung

Abbildungsverzeichnis.....	VII
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
1. Einleitung.....	1
2. Entscheidungstheoretische Grundlagen.....	3
2.1. Einführung.....	3
2.1.1. Was ist eine Entscheidung?.....	3
2.1.2. Aufgabengebiete der Entscheidungstheorie.....	4
2.1.3. Was macht Entscheidungen schwierig?.....	4
2.1.4. Der Modellrahmen des Entscheidungsprozesses.....	4
2.1.5. Entscheidungsträger.....	5
2.1.6. Bausteine eines Entscheidungsmodells	5
2.1.7. Darstellung von Entscheidungsproblemen.....	5
2.1.7.1. Ergebnismatrix.....	6
2.1.7.2. Entscheidungsmatrix	6
2.1.8. Das Grundmodell der Entscheidungstheorie	6
2.1.9. Einteilung von Entscheidungsproblemen.....	6
2.1.10. Entscheidung als Prozess.....	7
2.1.11. Die Grundprinzipien der präskriptiven Entscheidungstheorie.....	8
2.1.11.1. Das Streben nach Rationalität	8
2.1.11.2. Dekomposition	8
2.1.11.3. Subjektivität.....	8
2.1.11.4. Unvollständiges Wissen und das Dominanzprinzip	8
2.2. Komponenten der Entscheidungstheorie.....	9
2.2.1. Ziele	9
2.2.1.1. Die Bedeutung von Zielen	9
2.2.1.2. Hierarchische Unterteilung von Zielen.....	9
2.2.1.3. Die Generierung von Zielen	10
2.2.1.4. Zielsysteme	10
2.2.1.5. Zielfunktion.....	10
2.2.2. Alternativen.....	11
2.2.2.1. Charakteristik von Alternativen	11
2.2.2.2. Abgrenzung von Alternativen.....	11
2.2.2.3. Das Problem der Alternativenfindung	12
2.2.2.4. Möglichkeiten der Alternativenerzeugung.....	12
2.2.2.4.1. Alternativenerzeugung mittels eines quantitativen Wirkungsmodells	12
2.2.2.4.2. Alternativen als Maßnahmenkombinationen.....	12
2.2.2.4.3. Ideal-Alternativen als Ausgangspunkt.....	12
2.2.2.4.4. Erweiterung des Kontextes	13
2.2.2.4.5. Aufgabenzerlegung.....	13
2.2.2.4.6. Mehrstufige Alternativen	13
2.2.3. Umwelt.....	13
2.2.3.1. Entscheidung unter Sicherheit.....	14
2.2.3.2. Entscheidung unter Unsicherheit	14
2.2.3.2.1. Entscheidung bei Unsicherheit im engeren Sinne.....	14
2.2.3.2.2. Entscheidung bei Risiko.....	14
2.2.3.3. Die Bildung eines Wahrscheinlichkeitsurteils	14
2.2.3.3.1. Der klassische Wahrscheinlichkeitsbegriff	14
2.2.3.3.2. Statistische Wahrscheinlichkeiten.....	15

2.2.3.3.3.	Subjektive Wahrscheinlichkeiten.....	15
2.2.4.	Ergebnisse.....	15
2.2.4.1.	Ergebnisskalen	16
2.2.4.1.1.	Nominalskala.....	16
2.2.4.1.2.	Ordinalskala.....	16
2.2.4.1.3.	Kardinalskala	16
2.2.4.2.	Überführung von Skalentypen	16
2.3.	Vereinfachungen bei der Konstruktion von Entscheidungsmodellen.....	17
2.3.1.	Notwendigkeit und Grundformen der Vereinfachung.....	17
2.3.2.	Vernachlässigung von Alternativen	17
2.3.3.	Vereinfachung bei der Erfassung der Zustände	18
2.3.3.1.	Völlige Vernachlässigung von Zuständen	18
2.3.3.2.	Repräsentation mehrerer Zustände durch einen (mittleren) Zustand	18
2.3.4.	Vereinfachung bei der Bildung eines Wahrscheinlichkeitsurteils.....	18
2.3.5.	Vereinfachung bei der Darstellung der Ergebnisse	18
2.3.6.	Vereinfachung bei der Bestimmung der Nutzenfunktion	18
2.3.7.	Zur Abschätzung der Konsequenzen von Vereinfachungsmaßnahmen.....	19
2.4.	Die Entscheidungsfindung.....	19
2.4.1.	Vorgehensweise.....	19
2.4.2.	Die Vorauswahl von Alternativen.....	19
2.4.2.1.	Restriktionen und Anspruchsniveaus	19
2.4.2.2.	Dominanzkriterien.....	20
2.4.3.	Entscheidung mittels Entscheidungsregel	20
2.4.3.1.	Herangehensweise.....	20
2.4.3.1.1.	Ermittlung der vollständigen Präferenzordnung	20
2.4.3.1.2.	Alternativenwahl ohne vollständige Präferenzordnung.....	21
2.4.3.2.	Übersicht Entscheidungsregeln.....	21
2.4.3.3.	Entscheidungsregeln bei Sicherheit.....	22
2.4.3.3.1.	Lexikographische Ordnung (absolute Dominanz).....	22
2.4.3.3.2.	Zielgewichtung (Maximierungsregel)	22
2.4.3.3.3.	Goal-Programmierung (Satisfizierungsregel)	22
2.4.3.3.4.	Maximierung des minimalen Zielerreichungsgrades	22
2.4.3.4.	Entscheidungsregeln bei Ungewissheit.....	22
2.4.3.4.1.	Maximin (Wald)-Regel.....	22
2.4.3.4.2.	Maximax-Regel	23
2.4.3.4.3.	Hurwicz-Regel.....	23
2.4.3.4.4.	Laplace-Regel	23
2.4.3.4.5.	Savage-Niehans-Regel	23
2.4.3.4.6.	Krelle-Regel	24
2.4.3.5.	Entscheidungen bei Risiko.....	24
2.4.3.5.1.	Das Bernoulli-Prinzip.....	24
2.4.3.5.2.	Das μ -Prinzip.....	24
2.4.3.5.3.	Das μ - σ -Prinzip.....	24
2.5.	Die Nutzwertanalyse	25
2.5.1.	Allgemeine Grundlagen.....	26
2.5.2.	Ergebniserwartungen.....	27
2.5.3.	Zielerreichungsgrade.....	27
2.5.3.1.	Qualitative Ergebnisgrößen	27
2.5.3.2.	Quantitative Ergebnisgrößen	28
2.5.3.3.	Monetäre Ergebnisgrößen	28
2.5.4.	Gewichtung.....	29

2.5.5.	Nutzwertberechnung.....	29
2.5.6.	Entscheidungsfindung.....	29
2.5.7.	Stärken und Schwächen der Nutzwertanalyse	29
2.5.7.1.	Plausibilitätskontrollen.....	29
2.5.7.2.	Vorteile der Nutzwertanalyse.....	30
2.5.7.3.	Problematik der Nutzwertanalyse.....	30
2.6.	Gruppenentscheidungen.....	31
2.6.1.	In Gruppen gemeinsam Entscheiden.....	31
2.6.1.1.	Die Strukturierung des Entscheidungsproblems.....	31
2.6.1.2.	Die Generierung eines gemeinsamen Zielsystems	32
2.6.1.3.	Die Erzeugung von Gruppenwertfunktionen	32
2.6.1.4.	Die Generierung gemeinsamer Wahrscheinlichkeitsurteile.....	32
2.6.1.5.	Finden einer Gruppenentscheidung.....	32
2.6.2.	Aggregation über individuelle Entscheidungen.....	33
2.6.2.1.	Abstimmungsregeln	33
2.6.2.2.	Strategisches Verhalten bei der Abstimmung.....	34
2.6.3.	Vorteile und Probleme von Gruppenentscheidungen	34
2.6.3.1.	Vorteile von Gruppenentscheidungen	34
2.6.3.2.	Nachteilige Gruppeneffekte.....	35
2.6.3.3.	Mögliche Abhilfe	36
2.6.3.3.1.	Brainstorming.....	36
2.6.3.3.2.	Nominal Group Technique.....	36
3.	Das Entscheidungsproblem.....	37
3.1.	Organisatorisches Umfeld	37
3.1.1.	Die Firmengruppe	37
3.1.2.	Die Fa. MHM	37
3.1.3.	Tätigkeitsfeld des Unternehmens.....	37
3.1.4.	Absatzmärkte.....	38
3.1.5.	Marktsituation und Mitbewerber	38
3.1.6.	Entwicklung der letzten Jahre.....	39
3.1.7.	Vorgaben für die Zukunft.....	39
3.2.	Themenbeschreibung.....	40
3.2.1.	Technische Beschreibung	40
3.2.2.	Bisherige Entscheidungsfindung	40
3.2.3.	In der Vergangenheit eingesetzte Steuerungssysteme	40
3.2.4.	Vorgehensweise bei der Entscheidungsfindung.....	40
3.3.	Definition des Zielsystems.....	41
3.3.1.	Entscheidungsträger	41
3.3.2.	Ideensammlung	42
3.3.3.	Erstellung des Zielsystems	43
3.4.	Alternativensuche.....	45
3.4.1.	Entscheidungsträger	45
3.4.2.	Grundsätzliche Lösungsansätze	45
3.4.2.1.	Hardware	45
3.4.2.2.	Software	45
3.4.2.3.	Funktionelle Ausführung.....	46
3.4.3.	Untersuchte Alternativen.....	47
3.5.	Ermittlung der Ergebniserwartungen	48
3.5.1.	Kosten	48
3.5.1.1.	Hardwarekosten pro Maschine.....	48
3.5.1.1.1.	Standardisiertes Steuerungssystem mit Basisfunktionalität	49

3.5.1.1.2.	Standardisiertes Steuerungssystem mit erweiterter Funktionalität	50
3.5.1.1.3.	Firmenspezifische Hardware mit Basisfunktionalität	52
3.5.1.1.4.	Firmenspezifische Hardware mit erweiterter Funktionalität	52
3.5.1.2.	Entwicklungskosten	54
3.5.1.3.	Langfristige Verfügbarkeit/Obsoleszenzmanagement.....	54
3.5.1.3.1.	Reagierende Strategie.....	56
3.5.1.3.2.	Vorausschauende Strategie	56
3.5.1.3.3.	Obsoleszenz bei Industrieelektronik.....	57
3.5.1.3.4.	Standardisiertes Steuerungssystem.....	58
3.5.1.3.5.	Firmenspezifische Hardware.....	59
3.5.1.4.	Gesamtkosten pro Maschine	59
3.5.2.	Funktion.....	60
3.5.2.1.	Innovationspotential.....	60
3.5.2.1.1.	Zentrale Ausführung mit Basisfunktionalität.....	60
3.5.2.1.2.	Dezentrale Ausführung mit erweiterter Funktionalität.....	60
3.5.2.2.	Abhängigkeit.....	61
3.5.2.2.1.	Standardisiertes Steuerungssystem.....	61
3.5.2.2.2.	Firmenspezifische Hardware.....	61
3.5.2.3.	Stör- und Ausfallsicherheit	61
3.5.2.3.1.	Standardisiertes Steuerungssystem.....	62
3.5.2.3.2.	Firmenspezifische Hardware.....	62
3.5.3.	Schutz vor Kopien	62
3.5.3.1.	Standardisiertes Steuerungssystem.....	63
3.5.3.2.	Firmenspezifische Hardware.....	63
3.5.4.	Die Ergebnismatrix.....	63
3.6.	Ermittlung der Zielerreichungsgrade	64
3.6.1.	Kosten.....	64
3.6.2.	Funktion und Schutz vor Kopien.....	64
3.6.3.	Die Entscheidungsmatrix	64
3.7.	Die Entscheidungsfindung.....	65
3.7.1.	Die Präferenzordnung.....	65
3.7.2.	Plausibilitätskontrolle	66
3.7.3.	Alternativenbestimmung	66
4.	Fazit.....	67
Anhang.....		VIII
Langzeitverfügbarkeit von B&R Produkten		VIII
Angebot B&R		IX
Angebot InEL.....		X
Literaturverzeichnis.....		XII
Eigenhändigkeitserklärung.....		XV

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bausteine eines Entscheidungsmodells.....	5
Abbildung 2: Erwartungsstruktur der Umweltbedingungen.....	13
Abbildung 3: Übersicht Entscheidungsregeln.....	21
Abbildung 4: Karussellsiebdruckmaschine für T-Shirt-Druck.....	38
Abbildung 5: Ergebnis Brainstorming.....	42
Abbildung 6: Präferenzmatrix zur Ermittlung der Zielgewichte.....	43
Abbildung 7: Zielsystem mit Zielgewichten.....	44
Abbildung 8: Schema einer zentralen Steuerung.....	46
Abbildung 9: Schema einer dezentralen Steuerung.....	47
Abbildung 10: Hauptkomponenten B&R in zentraler Ausführung.....	49
Abbildung 11: Hauptkomponenten B&R in dezentraler Ausführung.....	50
Abbildung 12: Firmenspezifische Hardware in zentraler Ausführung.....	52
Abbildung 13: Firmenspezifische Hardware in dezentraler Ausführung.....	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aufbau einer Ergebnismatrix.....	6
Tabelle 2: Gebräuchliche Zuordnungstabelle für qualitative Ergebnisgrößen.....	27
Tabelle 3: Komponenten B&R in zentraler Ausführung.....	49
Tabelle 4: Komponenten B&R in dezentraler Ausführung.....	51
Tabelle 5: Entwicklungskosten.....	54
Tabelle 6: Gesamtkosten pro Maschine.....	60
Tabelle 7: Ergebnismatrix.....	63
Tabelle 8: Entscheidungsmatrix.....	65
Tabelle 9: Gesamtnutzen der Alternativen.....	65

Abkürzungsverzeichnis

bzw.	beziehungsweise	Mio.	Million[en]
ca.	circa	Nr.	Nummer
DI	digitale Eingänge	Pos.	Position
DO	digitale Ausgänge	Stk.	Stück
Ebd.	Ebenda	S.	Seite[n]
Fa.	Firma	u. a.	unter anderem
f.	folgende Seite	Vgl.	Vergleiche
ff.	folgende Seiten	z. B.	zum Beispiel
i.d.R.	in der Regel	€	Euro
i.e.S.	im engeren Sinne	%	Prozent
I/O	Ein-/Ausgänge	"	Zoll
Jg	Jahrgang		

1. Einleitung

Für jedes Maschinenbauunternehmen stellt sich bei einer Neuentwicklung bzw. Überarbeitung eines Produkts die Frage nach dem optimalen Steuerungssystem. Bei der Einführung elektronischer Steuerungen in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts war die Rechenleistung noch sehr beschränkt und die Kosten entsprechender Steuerungssysteme sehr hoch. Aus diesem Grund wurden elektronische Steuerungen meist speziell für die entsprechende Anwendung konzipiert und entwickelt. Bei aktuell am Markt verfügbaren Systemen ist die zur Verfügung stehende Rechenleistung nur noch ein untergeordnetes Thema. Durch den modularen Aufbau und durch eine Vielzahl von unterschiedlichen Baugruppen kann ein standardisiertes Steuerungssystem an nahezu jede Steuerungsaufgabe angepasst und damit alle Anwendungen realisiert werden. Trotz aller Modularität und Variantenvielfalt aktueller standardisierter Steuerungssysteme ist es vom Anwendungsfall abhängig, welche der beiden Varianten, Eigenentwicklung oder standardisiertes Steuerungssystem, besser geeignet ist. Ein entscheidender Faktor hierbei ist wie exakt die benötigte Hardware, gemeint sind sowohl Ein- und Ausgänge als auch Visualisierungs- und Eingabegeräte, durch das modulare System konfiguriert werden können. Unnötige Hardware verursacht Kosten, welche bei Entwicklung einer firmenspezifischen Lösung verringert werden können. Demgegenüber stehen die Kosten einer Eigenentwicklung sowie Mengenvorteile bei der Herstellung einer standardisierten Hardware. Neben den aktuellen Beschaffungskosten müssen jedoch auch langfristige Kosten, die durch die Entscheidung entstehen, berücksichtigt werden. Lassen sich die Kosten für Entwicklung und die Ausrüstung der Maschinen noch einfach ermitteln, so wird dies bei der Verfügbarkeit von elektronischen Komponenten deutlich schwieriger. Von Maschinenbauern wird häufig eine Betreuung der Maschinen und somit eine Ersatzteilversorgung über mindestens zehn Jahre nach Maschinenlieferung gefordert. Rechnet man hierzu die Entwicklungsdauer von ca. einem Jahr sowie den Serieneinsatz von geschätzten sieben Jahren, so kommt man auf eine benötigte Bauteilverfügbarkeit von 18 Jahren. Speziell elektronische Bauteile wie Prozessoren, Speicherbausteine oder auch Displays sind jedoch wesentlich kürzer am Markt erhältlich. Die Berücksichtigung dieses Umstands während des gesamten Produktlebenszyklus bezeichnet man auch als Obsoleszenzmanagement. Entscheidet man sich für ein standardisiertes Steuerungssystem und wird die Verfügbarkeit für den gesamten geforderten Zeitraum vom Lieferanten garantiert, so wandert der entsprechende Aufwand zum Zulieferer. Im Falle einer Eigenentwicklung liegen sowohl Verantwortung, Aufwand als auch Kosten bei einem selbst,

die jeweilige Höhe lässt sich im Vorhinein nur grob abschätzen. Die alleinige Betrachtung monetärer Punkte ist für eine ganzheitliche Betrachtung des Entscheidungsproblems jedoch nicht ausreichend. Zusätzlich zu quantifizierbaren Werten müssen subjektive Einschätzungen in die Entscheidung miteinbezogen werden. So hat auch im Maschinenbau das Design einen nicht unwesentlichen Einfluss auf Kaufentscheidungen. Das Produkt muss für den Käufer einerseits optisch ansprechend sein und andererseits seine Anforderungen an den Bedienkomfort bestmöglich erfüllen. Dabei erlaubt der Einsatz schneller Bussysteme zur Kopplung mehrerer Steuerungskomponenten einen dezentralen Aufbau des Systems, wodurch neuartige Bedienkonzepte möglich werden, gleichzeitig sinkt der Verkabelungsaufwand für den Maschinenhersteller. Die in den letzten Jahren immer schneller werdende Entwicklung bei Displays ermöglicht es heute, den aktuellen Maschinenzustand oder anstehende Störungen direkt vor Ort zu visualisieren und den Bediener damit bei der Bedienung oder Fehlerbeseitigung zu unterstützen. Der Vorteil einer Eigenentwicklung liegt hierbei in der völlig freien Gestaltung des Designs sowie des Bedienkonzepts, dies ermöglicht eine Abgrenzung zur Konkurrenz und kann ein wichtiger Wettbewerbsvorteil sein. Ein in den letzten Jahren immer größer gewordenes Problem sind Produktfälschungen und Maschinenkopien. Es agieren bereits mehrere asiatische Mitbewerber am Markt mit zum Teil offensichtlichen Nachbauten der vom untersuchten Unternehmen entwickelten Maschine. Eine wichtige Vorgabe für eine Maschinenneuentwicklung ist daher ein möglichst großer Schutz vor Raubkopien, wobei ein hundertprozentiger Schutz nie möglich sein wird. Durch den Einsatz von nicht frei am Markt erhältlicher Elektronikhardware kann der Nachbau deutlich erschwert und die Hemmschwellen für ein derartiges Vorhaben erhöht werden. Potentielle Raubkopierer benötigen zusätzliches Know-how und Aufwand sowie Kosten werden vergrößert. Als ein weiterer entscheidungsrelevanter Punkt müssen Abhängigkeiten einer Analyse unterzogen werden. Dabei ist im Elektronikbereich nicht nur die direkte Abhängigkeit zwischen dem Lieferanten und dem Maschinenbauer von Bedeutung, sondern auch die indirekte Abhängigkeit von Marktvorgaben.

Das in dieser Arbeit untersuchte Entscheidungsproblem betrifft ein mittelständisches österreichisches Unternehmen, welches seine Produkte zu über 80 % aus der Europäischen Union exportiert. Als Hersteller von Maschinen für die Textilindustrie wechselten die Hauptabsatzmärkte in der Vergangenheit häufig, aktuell liegen sie im asiatischen und südamerikanischen Raum. Bei der mit einer Steuerung auszurüstenden Maschine handelt es sich um Druckmaschinen zum Bedrucken von Stückgut, wie z.B. T-Shirts. Der Stückguttransport erfolgt dabei im Karussell-, der eigentliche Druckvorgang im

Siebdruckverfahren, man spricht daher auch von Karussell-Siebdruckmaschinen. Die aktuell hergestellten Maschinen gelten als technologisch führend und sind am oberen Ende der Preisspanne angesiedelt. Neben etwa zehn weltweit agierenden Herstellern entsprechender Maschinen existiert eine Vielzahl von nur lokal tätigen Unternehmen, der Spielraum bei der Preisgestaltung ist daher stark eingeschränkt. In den letzten Jahren kam es zu zum Teil deutlichen Umsatz- und Auftragsrückgängen, verursacht wurde dies durch verschiedenste Faktoren. Die Kopplung vieler Währungen der Hauptabsatzmärkte an den Dollar mit der entsprechenden Wechselkursentwicklung erschwerte den Maschinenabsatz, hiervon profitierte u. a. der Hauptkonkurrent aus den USA. Speziell im asiatischen Raum kamen neue Mitbewerber, mit zum Teil unseren Maschinen sehr ähnlichen Typen, auf den Markt. Stark getroffen wurde der Maschinenbausektor auch von der Finanz- und Wirtschaftskrise, diese führte zu einer geringen Investitionsbereitschaft, gepaart mit erschwerten Finanzierungsmöglichkeiten für die Abnehmer von Maschinen. Das Jahr 2010 zeigte eine deutliche Erholung des Marktumfelds, ausgehend von diesen Daten und eines relativ hohen durchschnittlichen Alters der bei den Kunden installierten Maschinen wird mit einer positiven Entwicklung für die nächsten Jahre gerechnet.

Ziel dieser Arbeit ist die Auswahl des unter Beachtung aller relevanten Faktoren optimalen Steuerungssystems. Hierzu fließen die Erfahrungen des Unternehmens aus 30 Jahren Maschinenbau sowie die der weltweiten Vertriebspartner in die Entscheidung mit ein. Es werden sowohl quantitative als auch qualitative Faktoren berücksichtigt. Als Ergebnis soll eine möglichst objektive und nachvollziehbare Entscheidung getroffen werden, die im Idealfall von allen Beteiligten getragen wird.

2. Entscheidungstheoretische Grundlagen

2.1. Einführung

2.1.1. Was ist eine Entscheidung?

Für den Begriff „Entscheidung“ findet sich in der Literatur eine Vielzahl von unterschiedlichen Definitionen. Allen gemeinsam ist die mehr oder weniger bewusste Auswahl einer von mehreren möglichen Handlungsalternativen. Dabei fließen auch in bewusste Entscheidungen unbewusste Faktoren wie Wertvorstellungen und Präferenzen mit ein.¹

¹ Vgl. Manalex: Entscheidung.

2.1.2. Aufgabengebiete der Entscheidungstheorie

Die Entscheidungstheorie gliedert sich in die deskriptive und die präskriptive Entscheidungstheorie. Während die deskriptive Entscheidungstheorie getroffene Entscheidungen beschreibt und erklärt, entwickelt die präskriptive Entscheidungstheorie rationale Wahlmaxime, um dem wirtschaftlichen Menschen beratend bei seinen Aktionen zu helfen.²

2.1.3. Was macht Entscheidungen schwierig?

Eisenführ/Weber³ listen hierzu folgende Punkte auf:

- Unsicherheit über die Zukunft. Die Folgen der möglichen Handlungsalternativen sind nicht mit Bestimmtheit absehbar.
- Zielkonflikte. Bei mehreren Zielen kann jede Alternative Vorteile gegenüber anderen Alternativen aufweisen.
- Anzahl der Alternativen. Zu wenige führen zu einer aufwändigen und vielleicht erfolglosen Suche nach weiteren Alternativen, bei zu vielen muss eine Strategie zur Vorauswahl gefunden werden.
- Komplexität. Sowohl die Anzahl der auf das Ergebnis einwirkenden unsicheren Einflüsse als auch die Zahl der Ziele beeinflussen die Komplexität der Situation.

Der Mensch benötigt formalisierte Regeln und Prozeduren, um in komplexen Situationen seine Erwartungen und Wünsche zu formen, transparent zu machen und konsistent zu verarbeiten.

2.1.4. Der Modellrahmen des Entscheidungsprozesses

Der Modellrahmen lässt sich laut Kahle⁴ wie folgt beschreiben:

1. Der Entscheidungsträger hat eine Zielvorstellung.
2. Es gibt verschiedene Alternativen, mit denen auf die Umwelt eingewirkt werden kann. Die Alternativen schließen einander aus.
3. Zwischen den Handlungsalternativen und den Umweltveränderungen bestehen bestimmte Zusammenhänge.
4. Die Umweltveränderungen können anhand der Zielvorstellungen in eine Ordnungsrelation gebracht werden.
5. Diese Ordnungsrelation kann vom Entscheidungsträger für alle Alternativen aufgestellt werden.

² Vgl. Gäfgen (1974), S. 50 ff.

³ Vgl. Eisenführ/Weber (2003), S. 2 ff.

⁴ Vgl. Kahle (2001), S. 39.

2.1.5. Entscheidungsträger

Als Entscheidungsträger kann sowohl eine einzelne Person als auch eine Gruppe fungieren.⁵ Der oder die Entscheidungsträger beeinflussen dabei den gesamten Prozess der Entscheidungsfindung. Abhängig von der Erfahrung, der Kreativität und der Präferenzen der beteiligten Personen werden unterschiedliche Ziele definiert, unterschiedliche Alternativen gefunden, die Umwelt unterschiedlich eingeschätzt und somit unterschiedliche Ergebnisse erzielt. *„Gruppenentscheidungen sind nicht in jedem Fall besser als Einzelentscheidungen. Aber grundsätzlich sind Einzelentscheidungen konfliktanfälliger als Gruppenentscheidungen.“*⁶

2.1.6. Bausteine eines Entscheidungsmodells

Laux⁷ gliedert Entscheidungsmodelle in die Basiselemente Zielfunktion und Entscheidungsfeld. Zum Entscheidungsfeld gehören die Bausteine Handlungsalternativen, Ergebnisse und Umweltzustände (ggf. mit Eintrittswahrscheinlichkeiten).

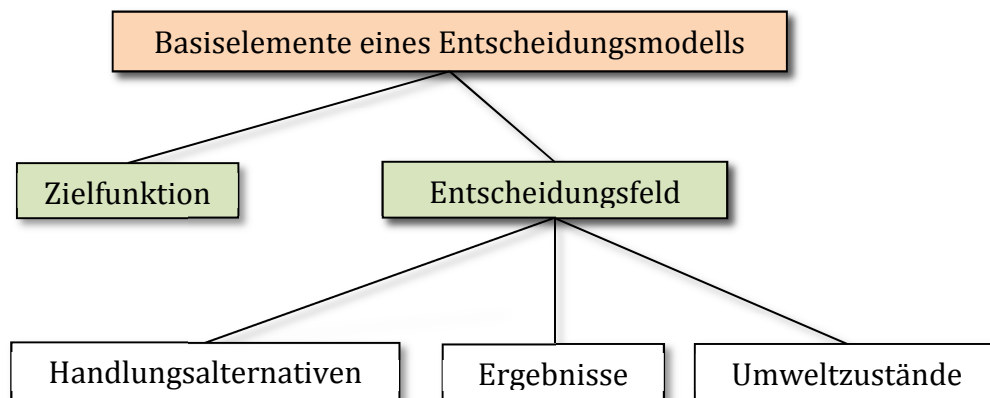


Abbildung 1: Bausteine eines Entscheidungsmodells

Eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Komponenten erfolgt in Kapitel 2.2 „Komponenten der Entscheidungstheorie“.

2.1.7. Darstellung von Entscheidungsproblemen

Durch eine grafische Darstellung lassen sich nur sehr einfache Entscheidungsprobleme mit wenigen Parametern abbilden und lösen. Bei komplexeren Problemen kommt daher meist eine Ergebnis- und Entscheidungsmatrix zum Einsatz. Im Fall von mehrstufigen Alternativen kann eine Darstellung durch einen Entscheidungsbaum hilfreich sein. Sogenannte Einflussdiagramme enthalten wesentlich weniger Details als Entscheidungsbäume, sie stellen nicht alle Handlungsalternativen, sondern nur die Entscheidungen als solche dar.⁸

⁵ Vgl. Kahle (2001), S. 9.

⁶ Dittmer (2001), S. 83.

⁷ Vgl. Laux (2005), S. 19.

⁸ Vgl. Eisenführ/Weber (2003), S. 35 ff.

2.1.7.1. Ergebnismatrix

In einer Ergebnismatrix werden in den Zeilen die unterschiedlichen Alternativen a und in den Spalten die verschiedenen Umweltzustände s mit deren Wahrscheinlichkeiten p dargestellt. Anschließend werden für alle Kombinationen die Ergebnisse e ermittelt und eingetragen.

	s_1, p_1	s_2, p_2
a_1	e_{11}	e_{12}
a_2	e_{21}	e_{22}

Tabelle 1: Aufbau einer Ergebnismatrix

2.1.7.2. Entscheidungsmatrix

Um eine Entscheidung herbeiführen zu können, muss eine Ergebnismatrix in eine Entscheidungsmatrix umgewandelt werden. Dabei kommt es zu einer Transformation der Ergebnisse bzw. zur Vereinheitlichung der Einheiten, um eine Vergleichbarkeit und somit die Aufstellung einer Präferenzordnung zu ermöglichen.

2.1.8. Das Grundmodell der Entscheidungstheorie

Unter dem Grundmodell der Entscheidungstheorie versteht man ein sehr anschauliches Darstellungskonzept bestehend aus einer Ergebnismatrix ergänzt um eine Zielfunktion, wodurch ein vollständiges Entscheidungsmodell entsteht.⁹

2.1.9. Einteilung von Entscheidungsproblemen

Entscheidungsprobleme können laut Stelling nach folgenden Kriterien unterteilt werden:¹⁰

- Anzahl nachfolgender Entscheidungen
 - einstufig
 - mehrstufig
- Anzahl Ziele bzw. Zustände
 - einfache
 - mehrfache Zielsetzung
- Umweltsituationen
 - Sicherheit
 - Unsicherheit
 - Ungewissheit (auch Unsicherheit i.e.S. genannt)
 - Risiko

⁹ Vgl. Laux (2005), S. 34 f.

¹⁰ Vgl. Stelling (2009), S. 318.

Grünig/Kühn¹¹ unterscheiden je nach Ausprägung der obigen Kriterien zwischen einfachen und komplexen Entscheidungsproblemen. Bei mehrstufigen Entscheidungen kommt es zu einer Aufspaltung einer Gesamtentscheidung in eine zeitliche Abfolge von Teilentscheidungen. Das Entscheidungsergebnis einer Stufe beeinflusst dabei die Entscheidungssituation der nachfolgenden Stufe, dabei werden Aktionen zu Strategien.¹² Ist das Ergebnis einer Strategie vom Verhalten anderer abhängig, kommt häufig die Spieltheorie zum Einsatz.¹³ Dabei sind die Zustände der Welt die Handlungsmöglichkeiten rational handelnder Gegenspieler auf die eigene Entscheidung.¹⁴ Mehrstufige Entscheidungen sind nicht Teil dieser Arbeit.

2.1.10. Entscheidung als Prozess

Zwischen den für Entscheidungsprobleme relevanten Zielen und Alternativen bestehen Interdependenzen. Deshalb ist es sinnvoll, die Alternativensuche und die Präzisierung des Zielsystems im Rahmen eines mehrstufigen Prozesses durchzuführen und die einzelnen Phasen nicht unabhängig voneinander zu betrachten. Der Begriff „Entscheidung“ umfasst also nicht nur den Entschluss sondern auch dessen Vorbereitung, es erfolgt also ein im Zeitablauf sich vollziehender Prozess. Laux beschreibt folgende Systematik:¹⁵

1. Problemformulierung:
Diese wird häufig angeregt durch die Wahrnehmung bestimmter Symptome.
2. Präzisierung des Zielsystems
Die Existenz von Zielvorstellungen ist Voraussetzung für eine rationale Entscheidung.
3. Erforschung von Alternativen
Alternativensuche unter Beachtung vorhandener Restriktionen.
4. Prognose der Ergebnisse der Alternativen
Hier ist grundsätzlich keine sichere Prognose möglich, allenfalls kann ein Urteil über die Wahrscheinlichkeit abgegeben werden.
5. Auswahl einer Alternative
Gesucht wird die im Hinblick auf die angestrebten Ziele beste Alternative.
6. Entscheidungen in der Realisierungsphase
Über Details wird meist erst während der Realisationsphase „vor Ort“ entschieden.

¹¹ Vgl. Grünig/Kühn (2009), S. 11.

¹² Vgl. Gabler: Mehrstufige Entscheidungen.

¹³ Vgl. Wiese (2002), S. VII.

¹⁴ Vgl. Stelling (2009), S. 329.

¹⁵ Vgl. Laux (2005), S. 8 ff.

2.1.11. Die Grundprinzipien der präskriptiven Entscheidungstheorie

Eisenführ/Weber nennen folgende Grundprinzipien:¹⁶

2.1.11.1. Das Streben nach Rationalität

Bei Rationalität handelt es sich nicht um objektive, beweisbare Eigenschaften, vielmehr um Anforderungen an Entscheider, deren Vernünftigkeit den meisten Menschen einleuchten. Man unterscheidet zwei Kriterien für rationale Entscheidungen:

1. Prozedurale Rationalität
 - Wird das richtige Problem gelöst?
 - Ist der Informationsaufwand der Entscheidung angemessen?
 - Erfolgt die Bildung von Erwartungen über die Zukunft mit relevanten, objektiven Daten?
 - Sind alle relevanten Aspekte bei der Bildung von Zielen und Präferenzen berücksichtigt worden?
2. Konsistenz der Entscheidungsgrundlagen
 - Liegt eine ausreichende Zukunftsorientierung der Entscheidung zu Grunde?
 - Ist ein Kettenschluss zwischen den Entscheidungen gegeben?
 - Die Entscheidung soll nicht von der Darstellung abhängen.
 - Unabhängigkeit von irrelevanten Alternativen.

2.1.11.2. Dekomposition

Zur Reduktion der Komplexität erfolgt eine Zerlegung des Entscheidungsproblems in leichter handhabbare Komponenten, von denen jede einzeln und für sich modelliert werden.

2.1.11.3. Subjektivität

Die grundsätzlich subjektiven Erwartungen und Präferenzen müssen begründet und mit rationalen Vorstellungen des Entscheiders übereinstimmen.

2.1.11.4. Unvollständiges Wissen und das Dominanzprinzip

Eine auf Basis geäußerter Erwartungen und Präferenzen als „optimal“ identifizierte Lösung muss hinsichtlich ihrer Stabilität gegenüber Variationen der verarbeiteten Information geprüft werden. Ist eine Alternative überlegen, obwohl über Erwartungen und Präferenzen keine vollständigen Informationen vorliegen, spricht man von Dominanz.

¹⁶ Vgl. Eisenführ/Weber (2003), S. 5 ff.

2.2. Komponenten der Entscheidungstheorie

2.2.1. Ziele

2.2.1.1. Die Bedeutung von Zielen

Die Entscheidungstheorie benötigt Zielvorstellungen des Entscheiders, um Konsequenzen der Handlungsalternativen nach ihrer Wünschbarkeit beurteilen zu können.¹⁷ Ziele sind für die Generierung bzw. Auffindung von Alternativen, für die Definition von relevanten Umwelteinflüssen sowie für die vernünftige Auswahl zwischen Alternativen notwendig.¹⁸

2.2.1.2. Hierarchische Unterteilung von Zielen

Für die hierarchische Ordnung von Zielen gibt es mehrere Ansätze. Stelling¹⁹ beschreibt folgende Möglichkeiten:

- Zielausmaß. Das Zielausmaß ist von Bedeutung bei der Unterteilung der Ziele in Haupt- und Nebenziele. Hauptziele besitzen dabei für die Wahl der optimalen Alternative ein vergleichsweise höheres Gewicht als Nebenziele. Nebenziele beinhalten ebenso anzustrebende Zustände, deren Ausmaß ist jedoch limitiert.
- Mittel-Zweck-Beziehungen. Wird ein Ziel für die Erreichung eines weiteren Ziels benötigt, so stellt Ersteres ein Unterziel und das weitere Ziel ein Oberziel dar. Ist ein Ziel gleichzeitig Unter- und Oberziel anderer Ziele, so spricht man auch von Zwischenziel.
- Zielbeziehungen beschreiben, inwieweit Maßnahmen zur Verbesserung einer Zielgröße eine andere Zielgröße beeinflussen. Beziehungen zwischen den Zielgrößen führen zu entscheidungstheoretischen Problemen. Man unterscheidet Zielneutralität, Zielkomplementarität und Zielkonflikt. Bei Zielneutralität kann das Entscheidungsproblem in unabhängige Teilprobleme zerlegt werden. Besteht Zielkomplementarität, kann sich der Entscheider allein an einer Zielgröße orientieren. Bei einem Zielkonflikt müssen die Vor- und Nachteile der verschiedenen Zielgrößen gegeneinander abgewogen werden, die Vorteile einer Zielgröße werden durch die Nachteile bei einer anderen Zielgröße erkaufte.

¹⁷ Vgl. Laux (2005), S. 3.

¹⁸ Vgl. Eisenführ/Weber (2003), S. 53 f.

¹⁹ Vgl. Stelling (2009), S. 315 f.

2.2.1.3. Die Generierung von Zielen

Ziele müssen durch intensives Nachdenken erarbeitet und geformt werden. Zur Generierung von Zielen kann laut Eisenführ/Weber²⁰ aus folgenden Quellen geschöpft werden:

- Aus Mängeln des bestehenden Zustands.
- Vergleich der vorliegenden Alternativen.
- Strategische Ziele übergreifender Natur.
- Existenz externer Vorgaben übergeordneter Stellen.
- Ziele der von den Konsequenzen betroffenen Personen.

2.2.1.4. Zielsysteme

Zielsystem bezeichnet die Gesamtheit der Ziele einer Entscheidungssituation. Keeney²¹ stellt folgende wichtige Anforderungen an Zielsysteme:

1. Die Ziele müssen für Entscheidungsfindung unverzichtbar sein.
2. Nur kontrollierbare, ausschließlich von der gewählten Alternative abhängige Konsequenzen dürfen berücksichtigt werden.
3. Alle wesentlichen Aspekte müssen berücksichtigt werden.
4. Der Grad der Zielerreichung muss messbar sein.
5. Die bei der Erstellung des Zielsystems entstehenden Kosten für Informationsbeschaffung und Analyse müssen angemessen sein.
6. Das Zielsystem muss für die getrennte Bearbeitung einzelner Ziele zerlegbar sein.
7. Redundanzfreiheit der Ziele, um Doppelzählungen zu verhindern.
8. Ein Zielsystem soll präzise und so klein wie möglich gehalten werden.
9. Das Zielsystem muss verständlich formuliert sein, um den Entscheidungsprozess zu erleichtern und zu fördern.

2.2.1.5. Zielfunktion

Eine Zielfunktion ist die formale Darstellung einer Entscheidungsregel. Diese benötigt eine Präferenzfunktion und ein Optimierungskriterium, welche die anstrebenswerte Ausprägung der Präferenzfunktion zum Ausdruck bringt. Die Zielrichtung ist Teil des Optimierungskriteriums.²²

²⁰ Vgl. Eisenführ/Weber (2003), S. 54 f.

²¹ Vgl. Keeney (1992), S. 82.

²² Vgl. Laux (2005), S. 24 ff.

2.2.2. Alternativen

2.2.2.1. Charakteristik von Alternativen

Für ein Entscheidungsproblem müssen mindestens zwei sich gegenseitig ausschließende Alternativen gegeben sein, die sich in der Erreichung von mindestens einem Ziel unterscheiden. Die Alternativen setzen sich dabei häufig aus sehr vielen Teilaktionen zusammen, es kommen dabei nur realisierbare Alternativen in Betracht. Die Menge der möglichen Alternativen ist dabei meist durch vom Entscheider nicht beeinflussbare Bedingungen begrenzt.²³

2.2.2.2. Abgrenzung von Alternativen

Hinsichtlich der Abgrenzung der Alternativen gelten gemäß Kahle²⁴ folgende Anforderungen:

- Unvereinbarkeit
- Gleiche Ausgangsbedingungen
- Vollständigkeit

Der Punkt Unvereinbarkeit ergibt sich aus der Definition der Entscheidung als Wahlakt. Durch gleiche Ausgangsbedingungen soll eine Beeinflussung der Entscheidung durch Voreingenommenheit des Entscheidungsträgers verhindert werden. Beim Punkt Vollständigkeit muss auf angemessene Kosten für die Informationsbeschaffung sowie auf eine Verbesserung der Entscheidung geachtet werden, auch ist das Ergebnis der kreativen Tätigkeit „Alternativenfindung“ nur eingeschränkt prognostizierbar.

Biasio²⁵ nennt folgende Kriterien für eine „gute“ Lösung:

- Die Alternative muss prinzipiell und mit vernünftigem Aufwand realisierbar sein.
- Die Folgen der Alternative müssen sich möglichst weitgehend bestimmen lassen.
- Die erwünschten Folgen müssen die unerwünschten deutlich überwiegen.
- Die Alternative muss sich innerhalb einer nützlichen Frist realisieren lassen.
- Die Alternative soll möglichst allen ermittelten Daten Rechnung tragen.
- Der Alternative soll ein weiterführender Charakter zukommen, womit die Sicherung der Kontinuität und das Offenhalten des Horizonts gemeint sind.

²³ Vgl. Laux (2005), S. 4.

²⁴ Vgl. Kahle (2001), S. 47 ff.

²⁵ Vgl. Biasio (1969), S. 73.

2.2.2.3. Das Problem der Alternativenfindung

Die Suche nach akzeptablen, relevanten Alternativen ist ein bedeutender Teil des Problems. Dabei handelt es sich um einen Suchvorgang oder um einen kreativen Prozess der Alternativengenerierung. Prinzipiell stellt sich immer die Frage, wann der Prozess beendet werden soll. Durch Zeit- oder Budgetrestriktionen wird eine weitere Alternativenproduktion unterbunden. Das Aufschieben von Entscheidungen kann auch zu Nachteilen bei bestehenden Alternativen bis hin zum völligen Verlust dieser führen. Die Entscheidung, wann die Suche abgebrochen wird, muss von Zielen und Erwartungen geleitet sein. Hierzu muss das Zielsystem vor der Erzeugung von Optionen möglichst weitgehend geklärt sein. Gleichzeitig mit der Erzeugung neuer Alternativen muss es zu einer Überprüfung und gegebenenfalls zu einer Aussonderung von Alternativen kommen. Eine Erhöhung der Anzahl von Alternativen lohnt nur, wenn dabei eine Chance besteht, eine bessere als die bereits bekannten zu finden.²⁶

2.2.2.4. Möglichkeiten der Alternativenerzeugung

„Die (Er-)Schaffung bzw. (Er-)Findung einer völlig neuartigen Alternative kann als Kreierung bezeichnet werden. Demgegenüber ist mit Generierung hier die systematische Konstruktion einer zwar neuen, zu den bekannten aber ähnlichen Alternative gemeint.“²⁷

Eisenführ/Weber²⁸ beschreiben folgende Methoden zur Alternativenerzeugung:

2.2.2.4.1. Alternativenerzeugung mittels eines quantitativen Wirkungsmodells

Mit der Materie vertraute Personen besitzen ein – wenn häufig auch unsicheres – Wissen über Kausalbeziehungen. Diese Hypothesen über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge können für die Alternativenerzeugung als Quelle dienen.

2.2.2.4.2. Alternativen als Maßnahmenkombinationen

Durch Kombination von möglichen Maßnahmen zur Zielerreichung lässt sich die Anzahl der Alternativen erhöhen.

2.2.2.4.3. Ideal-Alternativen als Ausgangspunkt

Ideale Lösungen können als Ausgangspunkt für die Alternativensuche verwendet werden. Das Nachdenken über eine hinsichtlich aller Ziele restlos zufriedenstellende Lösung kann das

²⁶ Vgl. Eisenführ/Weber (2003), S. 73 f.

²⁷ Dyckhoff/Ahn (1998), S. 53.

²⁸ Vgl. Eisenführ/Weber (2003), S. 74 ff.

Nachdenken über Alternativen stimulieren, auch wenn diese in den seltensten Fällen tatsächlich existiert.

2.2.2.4.4. Erweiterung des Kontextes

Durch die Erweiterung der zunächst formulierten Ziele auf fundamentalere Ziele werden häufig neue, bisher nicht in Betracht gezogene Alternativen gefunden.

2.2.2.4.5. Aufgabenzerlegung

Hierbei wird die Aufgabe in Module zerlegt, für welche Lösungen gesucht werden. Anschließend kombiniert man die Lösungen der Module und erhält dadurch eine oder wenige Alternativen.

2.2.2.4.6. Mehrstufige Alternativen

Durch die Erweiterung der Entscheidung auf mehrere Stufen kann die Menge der erfolgversprechenden Alternativen häufig vergrößert werden. Oftmals können einstufige Alternativen von vornherein ausgeschlossen werden, da es hier keine Möglichkeit zur Reaktion auf Misserfolge gibt.

2.2.3. Umwelt

Bei den Umweltbedingungen handelt es sich um Größen, die vom Entscheider nicht beeinflusst werden können, die Ausprägungen sind nur in Ausnahmefällen mit Sicherheit bekannt. Laux²⁹ gliedert die Erwartungsstruktur und beschreibt die einzelnen Komponenten wie folgt:

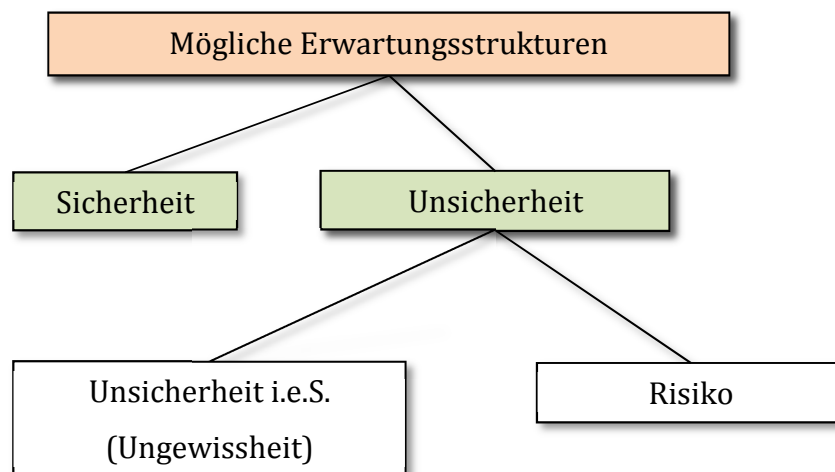


Abbildung 2: Erwartungsstruktur der Umweltbedingungen

²⁹ Vgl. Laux (2005), S. 22-23 und 63 ff.

2.2.3.1. Entscheidung unter Sicherheit

Von Sicherheit spricht man, wenn der Entscheider die Ausprägungen aller entscheidungsrelevanten Daten mit Sicherheit kennt. Da es grundsätzlich keine totale Sicherheit gibt, ist es eine Vorentscheidung die vorhandene Unsicherheit zu vernachlässigen. Bei großer Komplexität von Entscheidungsproblemen besteht ein Zwang zur Modellvereinfachung, dabei werden nicht alle Daten im Modell berücksichtigt. Eine Möglichkeit hierfür ist, dass für Daten feste Werte angenommen und diese als sicher bewertet werden. Diese Vorgehensweise ist vor allem dann gerechtfertigt, wenn die Daten für alle Alternativen ähnlich sind und/oder nur eine geringe Wahrscheinlichkeit für andere Werte besteht.

2.2.3.2. Entscheidung unter Unsicherheit

Hier werden mindestens zwei Zustände für möglich erachtet, wobei genau einer eintreten wird. Man unterscheidet zwei Fälle der Unsicherheit:

- Bei Unsicherheit i.e.S. kann kein Wahrscheinlichkeitsurteil gebildet werden.
- Unter Risiko ist eine Eintrittswahrscheinlichkeit zuordenbar.

2.2.3.2.1. Entscheidung bei Unsicherheit im engeren Sinne

Ist die Wahrscheinlichkeit unbekannt oder scheut man den Aufwand zum Bilden der subjektiven Wahrscheinlichkeiten, kann mittels Daumenregeln eine Entscheidung getroffen werden.³⁰ Die dabei angewendeten Entscheidungsregeln stellen relativ geringe Anforderungen an den Entscheider und sind daher einfach anzuwenden, dieser Vorteil wird jedoch durch die Unterdrückung von möglichen Ergebnissen erkaufte.

2.2.3.2.2. Entscheidung bei Risiko

Besitzt man ein Wahrscheinlichkeitsurteil bezüglich der denkbaren Zustände, so ist es sinnvoll, dieses bei der Ergebnisermittlung zu berücksichtigen.

2.2.3.3. Die Bildung eines Wahrscheinlichkeitsurteils

Die Wahrscheinlichkeit kann auf folgende Arten ermittelt werden:

2.2.3.3.1. Der klassische Wahrscheinlichkeitsbegriff

Die klassische Wahrscheinlichkeit geht auf Bernoulli und Laplace zurück. Zur Bestimmung setzt man die Anzahl der in der betreffenden Teilmenge enthaltenen Elementarereignisse ins Verhältnis zur Gesamtzahl der möglichen Elementarereignisse.

³⁰ Vgl. Wiese (2002), S. 17.

Die Gleichwahrscheinlichkeit aller Elementarereignisse wird vorausgesetzt.

2.2.3.3.2. Statistische Wahrscheinlichkeiten

Sie ist empirisch orientiert und wird z. B. durch Zufallsexperimente ermittelt. Man misst dabei die relative Häufigkeit, mit der ein bestimmtes Ereignis in einem Kollektiv von tatsächlichen Ereignissen eintritt. Voraussetzung ist, dass die Anzahl der tatsächlichen Ereignisse hinreichend groß ist und das Experiment unter stets gleichen Bedingungen durchgeführt wird. Dies kann jedoch besonders im wirtschaftlichen Bereich nur selten erfüllt werden.

2.2.3.3.3. Subjektive Wahrscheinlichkeiten

Sowohl die klassische als auch die statistische Wahrscheinlichkeit ist intersubjektiv überprüfbar, sie werden daher auch objektive Wahrscheinlichkeiten genannt. Oftmals existieren jedoch nur Glaubwürdigkeitsvorstellungen, welche in einem stochastischen Entscheidungsmodell erfasst werden können. Dabei müssen die Erfahrungen und die Intuition des Entscheiders, also dessen Glaubwürdigkeitsvorstellungen, als Informationsquelle genutzt und in numerischen Werten ausgedrückt werden. Die subjektive Wahrscheinlichkeit kann entweder direkt durch Befragung ermittelt oder indirekt aus bestimmten Entscheidungssituationen abgeleitet werden. Aufgrund unterschiedlicher Informationen oder unterschiedlicher Rückschlüsse ist die subjektive Wahrscheinlichkeit von Person zu Person unterschiedlich, eine intersubjektive Überprüfbarkeit ist nicht gegeben. Liegen wohlbegründete objektive Wahrscheinlichkeiten vor, so sind diese der subjektiven Wahrscheinlichkeit vorzuziehen. Da objektive Wahrscheinlichkeiten meist nicht existieren, wäre ein Verzicht auf subjektive Wahrscheinlichkeiten jedoch noch problematischer als deren Einbeziehung. Falls möglich sollten zusätzliche Informationen eingeholt und im Lichte zusätzlicher Erkenntnisse das Wahrscheinlichkeitsurteil gegebenenfalls revidiert werden. Aufgrund hoher Kosten kann jedoch entschieden werden, mögliche Informationsquellen nicht wahrzunehmen.

2.2.4. Ergebnisse

Für eine gewählte Handlungsalternative und eingetretene Umwelteinflüsse müssen die Konsequenzen ermittelt werden. Dies ist oftmals nicht trivial oder eindeutig, für diese Fälle müssen Wirkungsmodelle erstellt werden.³¹ Dabei sind nur solche Größen relevant, deren Ausprägungen für die Zufriedenheit des Entscheiders von Bedeutung sind.³²

³¹ Vgl. Eisenführ/Weber (2003), S. 30.

³² Vgl. Laux (2005), S. 21.

2.2.4.1. Ergebnisskalen

Bei der Ermittlung von Ergebnissen besitzen die Skalen verschiedene Messniveaus. Die Literatur liefert dabei nahezu einheitlich eine Einteilung in nominal-, ordinal- und kardinalskalierte Daten. Beispielhaft hier die Definition von Lillich³³.

2.2.4.1.1. Nominalskala

Eine Nominalskala ermöglicht lediglich die Aussage, ob eine Eigenschaft bzw. ein Merkmal erfüllt ist oder nicht. Ein Vergleich zwischen den Alternativen ist nicht möglich. Beispiele sind das Geschlecht oder eine Farbe. Nominal skalierte Daten können lediglich für eine Grobauswahl verwendet werden, z.B. als KO-Kriterien.

2.2.4.1.2. Ordinalskala

Hier ist es möglich, einen Messwert als größer oder kleiner zu bestimmen und dadurch in eine Rangreihe zu bringen. Ein Abstand zwischen den Ausprägungen kann nicht angegeben werden. Die ordinale Bewertung ist einfach durchführbar und kann durch das Fehlen von komplizierten Messmethoden schnell erfolgen. Die Ordinalskala kommt dann zum Einsatz, wenn aufgrund der Beschaffenheit der Daten die Anwendung der Kardinalskala nicht möglich ist.

2.2.4.1.3. Kardinalskala

Bei kardinalskalierten Daten liegt eine Referenzskala vor. Die Angabe von Differenzen zwischen den Ausprägungen ist möglich, die Werte können miteinander verglichen werden. Kardinalskalierte Daten besitzen den größten Informationsinhalt, sie sind daher anzustreben.

2.2.4.2. Überführung von Skalentypen

Für eine zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse ist eine einheitliche Skala notwendig. Bei der Überführung unterschiedlicher Skalentypen auf eine einheitliche Skala kommt es zu folgenden Problemen.

- Die Transformation von nominalen oder ordinalen Daten in kardinale Ergebnisse täuscht durch die erzeugten Abstufungen eine Scheinexaktheit vor, welche in Wirklichkeit nicht existiert.
- Werden kardinalskalierte Daten in ordinale Daten transferiert, so kommt es zu einem Informationsverlust hinsichtlich des Abstands zwischen zwei Werten.

³³ Lillich (1992), S. 26 f.

2.3. Vereinfachungen bei der Konstruktion von Entscheidungsmodellen

In realen Entscheidungssituationen besteht die Notwendigkeit zu vereinfachen. Ein Entscheidungsmodell ist stets eine Vereinfachung der Wirklichkeit, eine präzise Beschreibung wäre unzweckmäßig und erscheint unmöglich. Es werden daher nur wenige Eigenschaften der Realität abgebildet. Durch diese Einschränkung entspricht die Lösung des Entscheidungsproblems nicht zwangsläufig der tatsächlich gewählten Alternative. Durch Miteinbeziehung von Informationen, die bisher nicht explizit ins Modell eingegangen sind, kann die Lösung revidiert werden. Auch müssen Wert und Kosten der Informationen gegeneinander abgewogen werden. Laux³⁴ beschreibt die möglichen Vereinfachungen wie folgt:

2.3.1. Notwendigkeit und Grundformen der Vereinfachung

Der Entscheider kann nur jene Aspekte berücksichtigen, die er überhaupt wahrnimmt, seine Erkenntnismöglichkeiten gegenüber der Wirklichkeit sind begrenzt. Von einem „vollständigen“ Entscheidungsmodell spricht man, wenn es alle vom Entscheider wahrgenommenen Aspekte beinhaltet, die er als relevant ansieht. Trotzdem wäre auch hier der Planungsaufwand meist zu groß, es müssen weitere Vereinfachungen gemacht werden. Die Vereinfachung kann in unterschiedlichen Phasen des Problemlösungsprozesses erfolgen:

- Ein bereits konstruiertes Entscheidungsmodell wird im Nachhinein vereinfacht.
- Die Vereinfachung findet bereits in der Phase der Modellkonstruktion statt.

Bei der Art und beim Ausmaß der Vereinfachung handelt es sich um ein eigenes Entscheidungsproblem. Bei Vereinfachungen besteht stets die Gefahr von Verzerrungen, welche berücksichtigt werden müssen.

2.3.2. Vernachlässigung von Alternativen

Eine Vernachlässigung ist möglich, wenn es offensichtlich zu identischen Ergebnissen bei mehreren Alternativen kommt. In diesem Fall braucht nur eine Alternative in die Ergebnismatrix aufgenommen werden. Auch Alternativen, die durch eine andere dominiert werden, können vernachlässigt werden, ohne dass dies zu Nachteilen führt. Liefern Alternativen ähnliche Ergebnisse, so ist eine Vereinfachung naheliegend. Dadurch kann ohne besonderen Nachteil der Planungsaufwand deutlich gesenkt werden.

³⁴ Vgl. Laux (2005), S. 374 ff.

2.3.3. Vereinfachung bei der Erfassung der Zustände

Folgende Möglichkeiten bestehen bei der Erfassung der Zustände:

- Völlige Vernachlässigung von Zuständen
- Repräsentation mehrerer Zustände durch einen (mittleren) Zustand

2.3.3.1. Völlige Vernachlässigung von Zuständen

Dies ist immer dann möglich, wenn alle Alternativen im entsprechenden Zustand dasselbe Ergebnis liefern. Auch bei sehr ähnlichen Ergebnissen oder bei einer sehr geringen Eintrittswahrscheinlichkeit ist die Vernachlässigung des Zustands naheliegend. *„Bei praktischer Planung werden häufig nur drei „Fälle“ (Zustände bzw. Umweltentwicklungen) berücksichtigt, nämlich der „wahrscheinlichste“, der „schlechteste“ („worst case“) und der „beste“ Fall („best case“).“³⁵*

2.3.3.2. Repräsentation mehrerer Zustände durch einen (mittleren) Zustand

An Stelle annähernd derselben Ergebnisspalten bei verschiedenen Zuständen kann ein mittlerer Zustand angegeben werden. Die zu den Zuständen gehörenden Wahrscheinlichkeiten können addiert werden.

2.3.4. Vereinfachung bei der Bildung eines Wahrscheinlichkeitsurteils

Bei vielen Zuständen ist das indirekte Vorgehen bei der Bildung der Wahrscheinlichkeit recht aufwändig. Zur Vereinfachung kann die subjektive Wahrscheinlichkeit direkt geschätzt werden, dabei besteht immer noch die Möglichkeit, die festgelegten Wahrscheinlichkeiten mit Hilfe einer indirekten Methode zu überprüfen.

2.3.5. Vereinfachung bei der Darstellung der Ergebnisse

Dabei werden die Ergebnisse der Alternativen weniger genau beschrieben. An Stelle der exakten Ergebnisse setzt man grobe Schätzwerte.

2.3.6. Vereinfachung bei der Bestimmung der Nutzenfunktion

Hier werden die Nutzenwerte nur für einige Ergebnisse explizit bestimmt, die anderen Nutzenwerte werden nur grob geschätzt. Die Nutzenfunktion wird dabei approximativ so festgelegt, dass sie durch die davor bestimmten Punkte verläuft.

³⁵ Laux (2005), S. 380 f.

2.3.7. Zur Abschätzung der Konsequenzen von Vereinfachungsmaßnahmen

Die tatsächlich durch eine Vereinfachung verursachten Konsequenzen können vom Entscheider nur abgeschätzt werden. Die Entscheidung für eine Vereinfachung fällt i.d.R. zu einem Zeitpunkt, in dem nur vage Vorstellungen zu den Konsequenzen bestehen. Eine nachträgliche Vereinfachung, nachdem alle Konsequenzen ermittelt wurden, erscheint als nicht sinnvoll, da der eigentlich einzusparende Aufwand, den man zu vermeiden versucht, bereits entstanden ist.

2.4. Die Entscheidungsfindung

2.4.1. Vorgehensweise

Die Bestimmung der optimalen Lösung mittels graphischer Darstellung ist nur in besonderen Fällen mit nicht mehr als zwei Zielgrößen möglich. Mittels eines Rechenprozesses lässt sich die optimale Lösung unter Berücksichtigung der im Modell abgebildeten Zusammenhänge bestimmen. Dabei wird bei komplexen Entscheidungen oftmals an Stelle der optimalen Lösung der Anspruch auf eine „gute“ Lösung reduziert.³⁶ In einem ersten Schritt erfolgt eine Vorauswahl, dabei lässt sich die Menge der relevanten Aktionen ohne Annahmen über die Risikoeinstellung verringern. Schritt zwei benötigt spezielle Entscheidungsregeln zum Herbeiführen der eigentlichen Entscheidung.

2.4.2. Die Vorauswahl von Alternativen

Grundsätzlich verursacht jede zu analysierende Alternative Aufwand, zur Reduktion des Aufwands findet daher eine Vorauswahl statt. Dabei muss der Aufwand für die Vorauswahl weniger aufwändig sein als die Bewertung der ausgesonderten Alternativen, um sinnvoll zu sein. Eisenführ/Weber³⁷ nennen folgende Kriterien:

2.4.2.1. Restriktionen und Anspruchsniveaus

Unter Restriktionen und Anspruchsniveaus versteht man Killer-Kriterien, welche bei Nichteinhaltung den sofortigen Ausschluss der Alternative zur Folge haben. Der Vorteil liegt in der Einfachheit, der Nachteil in der Gefahr von voreiligen Ausschlüssen. Eine Kompensation nicht erfüllter Ziele ist hier auch durch überproportionale Übererfüllung anderer Ziele nicht mehr möglich.

³⁶ Vgl. Laux (2005), S. 49 f.

³⁷ Vgl. Eisenführ/Weber (2003), S. 85 ff.

2.4.2.2. Dominanzkriterien

Mit Dominanz wird der Tatbestand bezeichnet, dass eine Alternative im Vergleich mit einer anderen als überlegen erkennbar ist, obwohl die für eine Bewertung notwendigen Informationen nicht vollständig vorliegen. Stelling unterscheidet drei Dominanzprinzipien³⁸:

- Absolute Dominanz: Eine Aktion dominiert eine andere Aktion absolut, wenn der minimale Nutzen der ersten Aktion nicht kleiner ist als der maximale Nutzen der zweiten Aktion.
- Zustandsdominanz: Eine Aktion dominiert eine andere Aktion, wenn bei paarweisem Vergleich die Nutzen der ersten Aktion in keinem Zustand kleiner sind als die Nutzen der zweiten Aktion und bei mindestens einem Zustand die erste Aktion zu einem besseren Nutzen führt.
- Wahrscheinlichkeitsdominanz: Eine Aktion dominiert eine andere Aktion, wenn für jeden Nutzen die Wahrscheinlichkeit, diesen Nutzen mit der ersten Aktion zu erzielen, in keinem Zustand kleiner ist als bei der zweiten Aktion und wenn es mindestens einen Nutzen gibt, der von der ersten Aktion mit größerer Wahrscheinlichkeit als von der zweiten Aktion erzielt wird.

Für die absolute Dominanz und die Zustandsdominanz werden keine Wahrscheinlichkeiten benötigt.

2.4.3. Entscheidung mittels Entscheidungsregel

2.4.3.1. Herangehensweise

Laux³⁹ listet zwei Herangehensweisen für die Ermittlung der Präferenzordnung auf:

1. Ermittlung der vollständigen Präferenzordnung und Auswahl des Spitzenreiters.
2. Ermittlung des Spitzenreiters ohne vollständige Präferenzordnung.

2.4.3.1.1. Ermittlung der vollständigen Präferenzordnung

Die vollständige Präferenzordnung kann durch paarweise Vergleiche ermittelt werden. Dabei ist es nicht notwendig, jedes Ergebnis mit jedem anderen explizit zu vergleichen, aufgrund der Transitivitätsbedingung reichen meist relativ wenige Vergleiche. Trotzdem ist diese Variante mit einem großen Aufwand verbunden. Jene Alternative mit dem ersten Rang, also der Spitzenreiter, wird ausgewählt.

³⁸ Vgl. Stelling (2009), S. 320 f.

³⁹ Vgl. Laux (2005), S. 71 ff.

2.4.3.1.2. Alternativenwahl ohne vollständige Präferenzordnung

Wird nur der Spitzenreiter ermittelt, sind unter Umständen wesentlich weniger Paarvergleiche notwendig. Verlierer eines Vergleichs scheiden aus, Spitzenreiter ist jene Alternative die beim letzten Vergleich den Vorzug erhält.

2.4.3.2. Übersicht Entscheidungsregeln

Abhängig vom Umweltzustand kommen folgende Entscheidungsregeln zum Einsatz: ⁴⁰

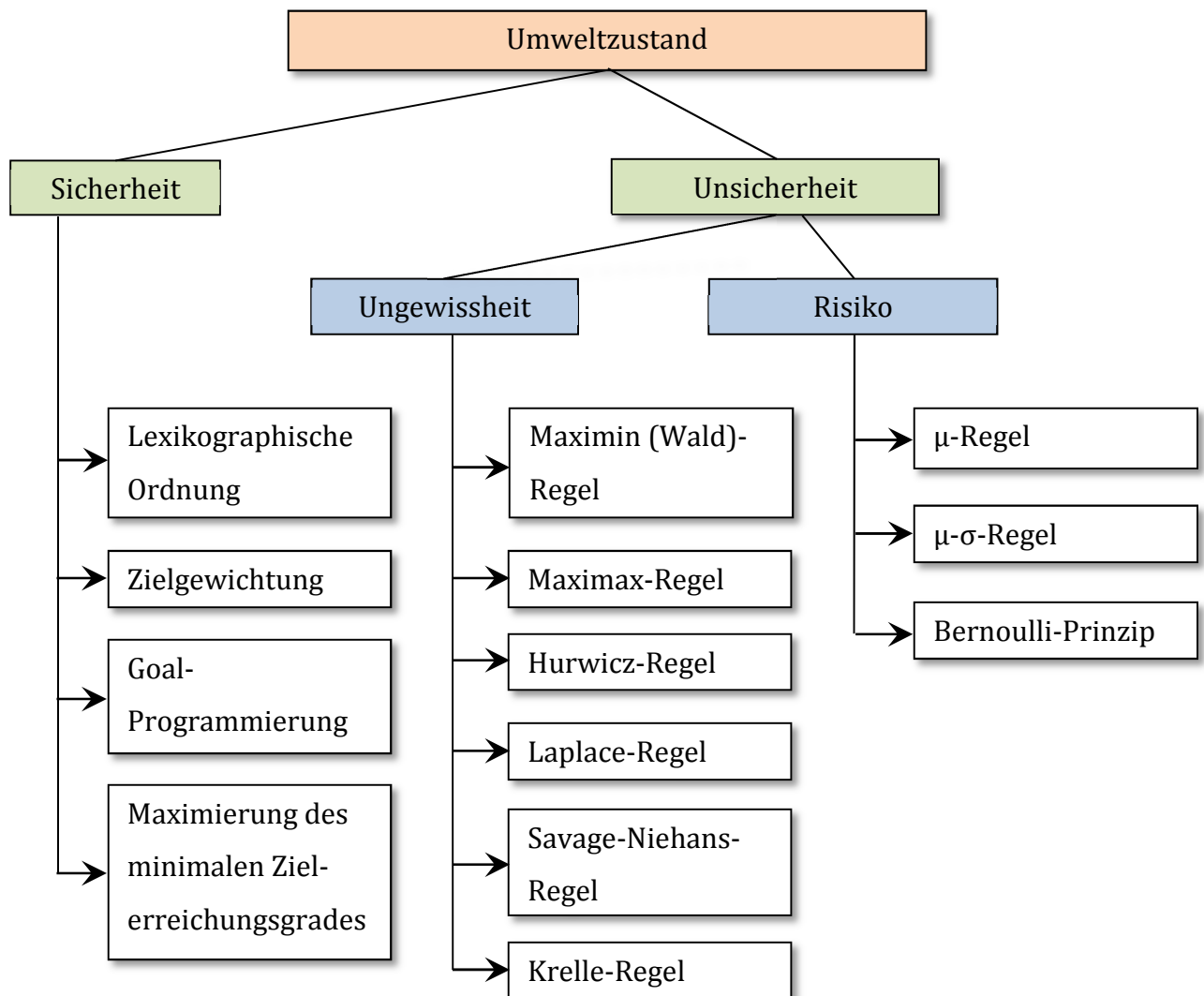


Abbildung 3: Übersicht Entscheidungsregeln

Bamberg/Coenenberg/Krapp⁴¹ beschreiben die hier dargestellten Möglichkeiten zur Lösung von Zielkonflikten wie folgt:

⁴⁰ Vgl. Stelling (2009), S. 322-328.

⁴¹ Vgl. Bamberg/Coenenberg/Krapp (2008), S. 52 ff.

2.4.3.3. Entscheidungsregeln bei Sicherheit

2.4.3.3.1. Lexikographische Ordnung (absolute Dominanz)

Hierbei wird nur jene Zielgröße berücksichtigt, der vom Entscheider das größte Gewicht beigemessen wird. Alle übrigen werden völlig vernachlässigt. Führt die wichtigste Zielgröße zu keiner eindeutigen Lösung, so wird im nächsten Schritt die zweitwichtigste Zielgröße herangezogen usw. Dabei wird die nächstwichtige Zielgröße maximiert unter der Bedingung, dass die vorrangige Zielgröße das Maximum nicht unterschreitet. Marginale Vorteile einer Alternative bei einer übergeordneten Zielgröße können jedoch auch durch große Vorteile bei allen anderen Zielgrößen nicht kompensiert werden.

2.4.3.3.2. Zielgewichtung (Maximierungsregel)

Hierbei wird die gewichtete Summe aller Zielgrößen maximiert, die Gewichtung wird dabei explizit vorgenommen. Die Zielgewichtung führt unabhängig von der gewählten Gewichtung zu einer effizienten Lösung. Problematisch erscheint jedoch die Festlegung von Gewichtungsfaktoren ohne deren Auswirkungen genau zu kennen.

2.4.3.3.3. Goal-Programmierung (Satisfizierungsregel)

Gesucht wird die Aktion mit der minimalen absoluten Abweichungssumme von den Vorgabewerten.

2.4.3.3.4. Maximierung des minimalen Zielerreichungsgrades

„Diejenige Aktion ist optimal, die in Bezug auf den ungünstigsten Zielerreichungsgrad unter allen Aktionen ein Maximum aufweist.“⁴² Diese Regel nennt man auch Pessimisten-Regel.

2.4.3.4. Entscheidungsregeln bei Ungewissheit

2.4.3.4.1. Maximin (Wald)-Regel

Die Maximin-Regel (auch Wald-Regel genannt) empfiehlt jene Aktion, die bei der ungünstigsten Konsequenz noch am günstigsten ausfällt. Bei mehreren Zielgrößen wird von jeder Alternative nur das ungünstigste Ergebnis berücksichtigt, gewählt wird die Alternative mit dem besten ungünstigen Ergebnis. Die Maximin-Regel impliziert eine extrem pessimistische Einstellung gegenüber den eintretenden Umweltzuständen.

⁴² Bamberg/Coenenberg/Krapp (2008), S. 55.

2.4.3.4.2. Maximax-Regel

Hier orientiert man sich an der jeweils günstigsten Konsequenz. Von jeder Alternative wird nur das beste aller möglichen Ergebnisse berücksichtigt, jene Alternative mit dem besten Ergebnis aller Alternativen ist optimal. Es wird eine extrem optimistische Einstellung impliziert.

2.4.3.4.3. Hurwicz-Regel

Die Hurwicz-Regel stellt einen Kompromiss zwischen Maximax- und Maximin-Regel dar. Mittels des sogenannten Optimismusparameter λ kann der Einfluss der günstigsten bzw. ungünstigsten Handlungsalternative variiert werden. Aus dem Maximal- und Minimalerfolg wird der gewogene Durchschnitt gebildet. Für $\lambda = 1$ entspricht die Hurwicz-Regel der Maximax-Regel für $\lambda = 0$ der Maximin-Regel. Optimal ist die Alternative mit der größten gewichteten Summe (H).

$$H = \lambda * \text{Maximum} + (1 - \lambda) * \text{Minimum}$$

2.4.3.4.4. Laplace-Regel

Die Laplace-Regel geht davon aus, dass man von keinem Umweltzustand sagen kann, dass er eher als ein anderer eintritt. Somit wird die Eintrittswahrscheinlichkeit für alle Zustände als gleichwahrscheinlich angenommen, dadurch entsteht eine künstlich definierte Risikosituation. Bamberg/Coenenberg/Krapp⁴³ verwenden als Gütemaß die Nutzensumme, andere wie z. B. Stelling⁴⁴ jedoch den Nutzenerwartungswert, welcher sich durch den Faktor $1/n$ unterscheidet.

$$\text{Nutzensumme} = \sum_{j=1}^n u_j \quad \text{Nutzenerwartungswert} = \sum_{j=1}^n u_j * \frac{1}{n}$$

2.4.3.4.5. Savage-Niehans-Regel

Bei der Savage-Niehans-Regel wird der Nutzenentgang und somit das Maß des Bedauerns für die Entscheidungsfindung herangezogen. Im ersten Schritt erstellt man eine Opportunitätskostenmatrix, auf welche dann die Minimax-Regel angewandt wird. Die Savage-Niehans-Regel wird insbesondere dann angewendet, wenn es darum geht einen möglichen Schaden zu minimieren.⁴⁵

⁴³ Vgl. Bamberg/Coenenberg/Krapp (2008), S. 116 f.

⁴⁴ Vgl. Stelling (2009), S. 324.

⁴⁵ Vgl. Stelling (2009), S. 325.

2.4.3.4.6. Krelle-Regel

Anstelle einer starren Gewichtung werden die Nutzwerte mittels einer für den Entscheidungsträger typischen Unsicherheitspräferenzfunktion in individuelle Nutzwerte umgerechnet und anschließend addiert.

2.4.3.5. Entscheidungen bei Risiko

Für Entscheidungen unter Risiko unterscheidet man das Bernoulli-Prinzip sowie die klassischen Entscheidungsprinzipien μ -Prinzip und μ - σ -Prinzip.

2.4.3.5.1. Das Bernoulli-Prinzip

Das Bernoulli-Prinzip erfasst alle möglichen Zielgrößenwerte. „Dabei werden die Auszahlungen durch eine Nutzenfunktion transformiert und anschließend der Erwartungswert dieser Nutzenwerte gebildet.“⁴⁶ Ziel ist die Maximierung des erwarteten Nutzens. Zu erwähnen ist hier, dass das Bernoulli-Prinzip auch mit einer im engeren Sinne risikoscheuen Einstellung vereinbar ist.⁴⁷

2.4.3.5.2. Das μ -Prinzip

Hierbei dient der Erwartungswert der Zielgröße als Beurteilungsmaßstab, als optimal gilt die Alternative mit dem maximalen Erwartungswert. Weitere Bezeichnungen sind μ -Kriterium, μ -Regel, Bayes-Regel oder Bayes-Kriterium.

2.4.3.5.3. Das μ - σ -Prinzip

Um neben dem Erwartungswert auch das Risiko zu erfassen, wird die Standardabweichung der Zielgröße mit einbezogen. σ ist dabei ein Maß für die Streuung der Zielgrößenwerte um den Erwartungswert.

⁴⁶ Wiese (2002), S. 26.

⁴⁷ Vgl. Bitz (1998), S. 916.

2.5. Die Nutzwertanalyse

„Die Nutzwertanalyse ist ein Bewertungsverfahren, das sich an der Struktur des ‚Grundmodells der Entscheidungstheorie‘ orientiert [...]. Die ‚klassische Definition‘ der Nutzwertanalyse stammt von Zangemeister.“⁴⁸

„N U T Z W E R T A N A L Y S E ist die Analyse einer Menge komplexer Handlungsalternativen mit dem Zweck, die Elemente dieser Menge entsprechend der Präferenzen des Entscheidungsträgers bezüglich eines m u l t i d i m e n s i o n a l e n Zielsystems zu ordnen. Die Abbildung dieser Ordnung erfolgt durch die Angabe der N u t z w e r t e (Gesamtwerte) der Alternativen.“⁴⁹

In der Literatur findet man eine Vielzahl unterschiedlicher Definitionen und Abgrenzungen. Allen gemeinsam ist die gleichzeitige Bewertung von qualitativen und quantitativen Faktoren. Die Unterschiede betreffen z. B. die verwendeten Skalierungsverfahren sowie das Vorgehen bei der Wertamalgamation.

Bechmann⁵⁰ schreibt: *„Das wesentliche Charakteristikum der Nutzwertanalyse ist die Auflösung einer komplexen Bewertungsproblematik in einfache Teilaspekte, die Bewertung dieser Teilaspekte und die daran anknüpfende Zusammenfassung der Teilbewertungen zu einer umfassenden Bewertungsaussage: dem Nutzwert.“*

Die von Zangemeister⁵¹ geprägte Standardversion der Nutzwertanalyse (auch Nutzwertanalyse der 1. Generation oder „harte“ Version genannt) skaliert kardinal, erfordert Nutzenunabhängigkeit, arbeitet mit konstanten Gewichten und ermittelt den Gesamtnutzwert durch Addition der gewichteten Teilnutzen. Bechmann⁵² entwickelte diesen Ansatz weiter zur Nutzwertanalyse der 2. Generation. Diese skaliert ordinal, erlaubt Wertbeziehungen, setzt Gewichtungen flexibel ein und aggregiert in mehreren Schritten. Die größere Flexibilität wird dabei jedoch durch einen Verlust an Einfachheit bei der Handhabung erkauft. Aufgrund der Unerfahrenheit vieler der im Entscheidungsprozess involvierten Personen im Umgang mit Nutzwertverfahren soll zur Sicherung der Akzeptanz ein möglichst leicht verständliches Vorgehen gewählt werden. Für die Zwecke dieser Arbeit wird vom Homo oeconomicus⁵³ und somit dem Rationalprinzip⁵⁴ ausgegangen, das darin enthaltene Prinzip der Nutzenmaximierung wird am besten durch die Zielgewichtung ausgedrückt.

⁴⁸ Albers (1982), S. 799.

⁴⁹ Zangemeister (1976), S. 45.

⁵⁰ Bechmann (1978), S. 21.

⁵¹ Vgl. Zangemeister (1976).

⁵² Vgl. Bechmann (1978).

⁵³ Vgl. Wirtschaftslexikon24: Homo oeconomicus.

⁵⁴ Vgl. Wirtschaftslexikon24: Rationalprinzip.

Die folgende detaillierte Beschreibung der Nutzwertanalyse orientiert sich daher an der Standardversion der Nutzwertanalyse. Geyer⁵⁵ und Hoffmeister⁵⁶ beschreiben diese wie folgt:

2.5.1. Allgemeine Grundlagen

Die Nutzwertanalyse basiert auf einer analytischen Bewertung mit Kardinalskala. „Alle Bewertungskriterien werden über eine Funktion in einen ungewichteten Teilnutzwert transformiert, mit Gewichtungsfaktoren multipliziert und anschließend aufsummiert.“⁵⁷ „Genutzt wird dabei das Scoring [...] als Punktbewertungsverfahren.“⁵⁸ Es erfolgt eine vergleichende Betrachtung der Bewertungsobjekte und Zuordnung von Zahlen gemäß dem abgeschätzten Grad der Zielerreichung. In der Praxis reichen die Zahlen häufig von 0 (=schlechteste) bis 10 (=beste Zielerreichung). Im zweiten Schritt muss eine Gesamtbewertung aus den Einzelwerten ermittelt werden. Da alle Einzelwerte auf der gleichen metrischen Skala liegen, können sie mathematisch verknüpft werden. Um die Bedeutung von Kriterien zu berücksichtigen, werden Gewichtungsfaktoren ermittelt und die Einzelwerte damit durch Multiplikation in gewichtete Nutzwerte überführt. Die Summe aller Nutzwerte ergibt den Gesamtwert.

Die Nutzwertanalyse kommt insbesondere dann zum Einsatz, wenn:

- eine monetäre Bewertung nicht möglich ist oder nicht ausreicht,
- mehrere Handlungsalternativen zu erfassen sind,
- eine Vielzahl von entscheidungsrelevanten Größen zu beachten sind.

Ein besonderes Kennzeichen ist, dass zusätzlich zu den objektiven Informationen subjektive Einschätzungen einbezogen werden. Durch den Einsatz der Nutzwertanalyse werden:

- Entscheidungssituationen transparent dargestellt,
- Subjektive Momente der Entscheidungsfindung festgehalten,
- Die Konsequenzen der Alternativen aufgezeigt und nachvollziehbar beurteilt,
- Das Risiko von Fehlentscheidungen verringert.

⁵⁵ Vgl. Geyer (2007), S. 72 ff.

⁵⁶ Vgl. Hoffmeister (2000), S. 278 ff.

⁵⁷ Vgl. Stähler (2002), S. 38.

⁵⁸ Geyer (2007), S. 72.

2.5.2. Ergebniserwartungen

„Die Menge der Handlungsalternativen wird als gegeben und dem Entscheidungsträger als bekannt unterstellt.“⁵⁹ Es sind für alle Alternativen die Ergebniserwartungen zu ermitteln. Man spricht von Ergebniserwartungen, da die genauen Auswirkungen meist ungewiss sind. Wichtig dabei ist die Auswahl der richtigen Skalierung. Die Verwendung nominal skalierten Daten für die Nutzwertanalyse ist grundsätzlich unzulässig, kardinalskalierte Daten sind anzustreben. Bei ordinalskalierten Ergebnissen empfiehlt sich die Verwendung eines Bewertungsschemas zur Beurteilung. „Das Bewertungsschema sollte unabhängig von den Ergebnissen der Alternativen festgelegt und nicht durch sie begrenzt werden. [...] Anhand des Bewertungsschemas können die Ergebnisse eingeordnet und bewertet werden, später wird dadurch die Bestimmung der Zielerreichungsgrade erleichtert.“⁶⁰

2.5.3. Zielerreichungsgrade

„Die Zielerreichungsgrade geben an, inwieweit die ermittelten Ergebniserwartungen das vorgegebene Ziel erreichen.“⁶¹ Die Bewertung erfolgt meist in Punkten zwischen null und zehn, wobei zehn die beste Zielerreichung darstellt. Durch die Umwandlung von qualitativen Aussagen in Zielerreichungsgrade werden die ordinalskalierten Daten in eine metrische Skala umgewandelt. Es erfolgt eine Transformation von qualitativen Ergebnisgrößen mit verbaler Rangordnung in quantitative Ergebnisgrößen mit messbarer Rangordnung. Hierbei besteht jedoch ein Ermessungsspielraum, welcher zu Verzerrungen führen kann. Die Ermittlung der Zielerreichungsgrade bei quantitativen und monetären Ergebnisgrößen kann rechnerisch und grafisch erfolgen.

2.5.3.1. Qualitative Ergebnisgrößen

Die Zielerreichung lässt sich durch Zuordnungstabellen bestimmen. Hier eine gebräuchliche Zuordnungstabelle auf Basis einer Beurteilung mit Schulnoten:

Ergebnisgröße	besser (+)	neutral	schlechter (-)
Sehr gut	10	-	9
Gut	8	-	7
Befriedigend	6	5	4
Ausreichend	3	-	2
Mangelhaft	1	-	0

Tabelle 2: Gebräuchliche Zuordnungstabelle für qualitative Ergebnisgrößen

⁵⁹ Dinkelbach (2007), S. 1.

⁶⁰ Hoffmeister (2000), S. 286.

⁶¹ Hoffmeister (2000), S. 288.

2.5.3.2. Quantitative Ergebnisgrößen

Die Transformation von kardinalskalierten Daten erfolgt mittels Transformationsfunktionen. Die Entscheidung, welche Ergebniserwartung ungeeignet bzw. optimal ist, beinhaltet die subjektive Meinung des Anwenders. Dieser Funktion unterstellt man einen linearen Zusammenhang zwischen dem Ergebnis und dem Zielerreichungsgrad. Durch Zuordnung zweier Ergebniserwartungen zu zwei Zielerreichungsgraden lässt sich die Funktion bestimmen, am besten für die Zielerreichungsgrade null und zehn. Zur einfachen Umrechnung eignen sich folgende Formeln:⁶²

a) Höheres Ergebnis ist besser:

$$\text{Zielerreichungsgrad} = \frac{\text{Ergebnis} - \text{min. Ergebnis}}{\text{max. Ergebnis} - \text{min. Ergebnis}} * 10$$

b) Niedriges Ergebnis ist besser:

$$\text{Zielerreichungsgrad} = \left(1 - \frac{\text{Ergebnis} - \text{min. Ergebnis}}{\text{max. Ergebnis} - \text{min. Ergebnis}}\right) * 10$$

2.5.3.3. Monetäre Ergebnisgrößen

Bei monetären Ergebnisgrößen wird die Wirtschaftlichkeit durch eine lineare Skalierungsfunktion falsch bestimmt. Differenzbetrachtungen sind hier aufgrund unterschiedlicher Größenordnungen oft nicht sinnvoll. Zur Bestimmung der Skalierungsfunktion ist wie folgt vorzugehen:

1. Der wirtschaftlichsten Alternative ist die maximale Punktzahl zehn zuzuordnen. Der optimale Wert ist dabei die höchste Einnahme oder die geringste Ausgabe.
2. Zur Bestimmung der Bandbreite von zulässigen Lösungen muss die maximal zulässige Abweichung bestimmt werden. *„Eine praxisbewährte Begrenzung ist der Faktor 2.“*⁶³ Bei Ausgaben erhalten Werte, die doppelt so hoch oder mehr sind, den Zielerreichungsgrad Null. Bei Einnahmen wird der Zielerreichungsgrad Null vergeben, wenn die Werte 50 % oder weniger der besten Alternative betragen.

⁶² Die Formeln stammen von Herrn Prof. Köbernig, gültig bei einer Skala von null bis zehn.

⁶³ Hoffmeister (2000), S. 292.

3. Die Berechnung der Zielerreichungsgrade erfolgt mittels folgender Formeln:

Ausgabenbarwert:

$$\text{Zielerreichungsgrad} = 10 - \left(\frac{\text{Ausgabenbarwert}}{\text{Min. Ausgabenbarwert}} - 1 \right) * 10$$

Einnahmenbarwert:

$$\text{Zielerreichungsgrad} = 10 - \left(\frac{\text{Max. Einnahmenbarwert}}{\text{Einnahmenbarwert}} - 1 \right) * 10$$

2.5.4. Gewichtung

Durch Gewichtungsfaktoren kann die Bedeutung der einzelnen Beurteilungs- bzw. Ergebnisgrößen festgelegt werden, dies erfolgt rein subjektiv durch den Anwender. Gewichtungsfaktoren werden als Prozentsätze angegeben, die Summe aller Einzelfaktoren muss 100 % ergeben. Gibt es Ober-, Zwischen- und Unterziele kann das Gesamtgewicht schrittweise auf den unterschiedlichen Zielebenen verfeinert werden.

2.5.5. Nutzwertberechnung

Die Nutzwertberechnung erfolgt in zwei Rechenschritten:

- 1) Berechnung der Teilnutzwerte durch Multiplikation der Zielerreichungsgrade mit den Gewichtungsfaktoren.
- 2) Addition der Teilnutzwerte zum Nutzwert.

2.5.6. Entscheidungsfindung

Als Entscheidungsfindung bezeichnet man den Prozess der Alternativenbestimmung, welche als die beste Lösung erscheint. Bei einer Nutzwertanalyse ist jene Alternative mit dem höchsten Nutzwert zu wählen.

2.5.7. Stärken und Schwächen der Nutzwertanalyse

Es muss trotz allen vorhandenen subjektiven Faktoren versucht werden, die Entscheidung soweit möglich zu objektivieren. Hierzu dient eine abschließende Plausibilitätskontrolle.

2.5.7.1. Plausibilitätskontrollen

Die Plausibilitätskontrolle soll die erhaltenen Ergebnisse auf ihre Robustheit hin überprüfen.⁶⁴ Es soll noch einmal kontrolliert werden, welchen Einfluss alle Elemente auf das Ergebnis haben und inwieweit die einzelnen Wertungen in sich schlüssig sind. Sie ist insbesondere dann angebracht, wenn über Richtigkeit und Genauigkeit Unklarheit herrscht

⁶⁴ Vgl. Demuth/Hammer (2008), S. 18.

oder die Ergebnisse der Alternativen knapp beieinander liegen.⁶⁵ Mittels Sensitivitätsanalyse werden kritische Parameter ermittelt und der Einfluss von Veränderungen bei diesen Parametern überprüft.⁶⁶ Eine Szenarienanalyse untersucht die Auswirkungen von optimistischen und pessimistischen Werten auf das Ergebnis.⁶⁷

2.5.7.2. Vorteile der Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse ist vergleichsweise einfach durchzuführen und kann dennoch entscheidungsrelevante Einsichten und Informationen vermitteln. Im Gegensatz zu anderen Kosten-Nutzen-Untersuchungen werden auch nicht monetäre Einflussgrößen berücksichtigt. Es ist möglich, subjektive Bewertungen des Entscheidungsträgers für sich selbst und andere transparent zu machen. *„Die Nutzwertanalyse kann jedoch stets nur Entscheidungshilfe leisten, die letztendliche Entscheidung kann sie dem Anwender nicht abnehmen.“*⁶⁸

2.5.7.3. Problematik der Nutzwertanalyse

*„Die auf der Basis des Nutzenkonzepts abgeleiteten Lösungen eines Auswahlproblems sind nicht Optimallösungen im mathematisch funktionalen Sinne.“*⁶⁹ Das Problem liegt in der Schätzung der Ergebnisse und der Skalierung und den damit verbundenen Ungenauigkeiten. Weiters lassen nur kardinalskalierte Ergebnisse eine objektive Bewertung zu, diese sind jedoch nur bei physikalischen Größen gegeben. Bei einer allenfalls notwendigen Transformation unterschiedlich skalierten Daten kann es zu Verzerrungen kommen. Auch die exakte Bestimmung der Präferenzordnung und somit der Gewichtung ist problematisch. Bedenklich ist auch der unterschiedliche Umgang zwischen monetären und nicht monetären Größen. Der besten Alternative bei der Wirtschaftlichkeit wird automatisch ein Zielerreichungsgrad von zehn zugeordnet, obwohl hier theoretisch bessere Ergebnisse denkbar sind, bei nicht monetären Beurteilungsgrößen werden die Zielerreichungsgrade null und zehn nicht zwangsläufig besetzt. Die in der Regel hohe Gewichtung der Wirtschaftlichkeit kann durch nicht monetäre Beurteilungsgrößen meist nur sehr schwer ausgeglichen werden, eine Alternative mit hohem Nutzwert aber geringerer Wirtschaftlichkeit kann sich somit nur schwer durchsetzen.

⁶⁵ Vgl. Hoffmeister (2000), S. 306.

⁶⁶ Vgl. Geyer (2007), S. 103.

⁶⁷ Vgl. Strukturfonds-ERDF, Kohäsionsfonds und ISPA (2003), S. 42 ff.

⁶⁸ Hoffmeister (2000), S. 308.

⁶⁹ Zangemeister (1976), S. 47.

2.6. Gruppenentscheidungen

In Unternehmen werden Entscheidungen immer seltener durch einzelne Entscheider, sondern von Gremien getroffen. Ein Grund hierfür ist die Tatsache, dass Unternehmen immer häufiger einer Eigentümergruppe gehören und durch die Rechtsform des Unternehmens Gruppenentscheidungen oftmals durch Gesetze oder Satzungen erzwungen werden.⁷⁰ Des Weiteren soll durch Einbeziehung von mehr Informationen und verschiedenen Standpunkten der wachsenden Komplexität von Entscheidungen Rechnung getragen werden.⁷¹ „*Stimmen alle Mitglieder der Gruppe sowohl in ihren Zielen als auch in der Beurteilung der übrigen Determinanten der Entscheidungssituation überein, so liegt eine völlig homogene Gruppe vor, die wie ein einzelner Entscheider behandelt werden kann.*“⁷² Ist dies nicht gegeben, muss ein Ausgleich zwischen den divergierenden Einzelinteressen herbeigeführt werden. Folgende zwei Vorgehensweisen kommen laut Saliger⁷³ zur Bildung von Gruppenurteilen in Betracht:

- In Gruppen gemeinsam entscheiden.

In das Verfahren zur Bewertung und Aggregation von Ergebnissen fließen die Vorstellungen aller Gruppenmitglieder ein. Die dadurch ermittelten Entscheidungswerte stellen bereits kollektive Entscheidungswerte dar.

- Aggregation über individuelle Entscheidungen.

Jedes Gruppenmitglied löst zunächst das Problem individuell für sich selbst und ermittelt so seine Reihung der Aktionen. Aus diesen Reihungen der Aktionen der einzelnen Gruppenmitglieder muss anschließend eine gerechte Reihung ermittelt werden, welche die Gruppe nach außen hin geschlossen als ihre kollektive Reihung vertritt.

2.6.1. In Gruppen gemeinsam Entscheiden

Eisenführ/Weber gliedern gemeinsame Gruppenentscheidungen wie folgt:⁷⁴

2.6.1.1. Die Strukturierung des Entscheidungsproblems

Die Dekomposition in Ziele, Alternativen, Erwartungen und Wirkungsmodelle steigert die Chance auf eine höhere prozedurale Rationalität. Jedes Modul wird einzeln diskutiert und dabei das gesamte Wissen der Gruppenmitglieder genutzt, das Entscheidungsproblem braucht nicht jeder Einzelne für sich zu lösen. Das Wissen über entscheidungstheoretische Verfahren kann ausschließlich bei einem neutralen Moderator der Gruppendiskussion liegen.

⁷⁰ Vgl. Grünig/Kühn (2009), S. 229 f.

⁷¹ Vgl. Lindstädt (1998), S. 165.

⁷² Saliger (2003), S. 179.

⁷³ Vgl. Saliger (2003), S. 179.

⁷⁴ Vgl. Eisenführ/Weber (2003), S. 314 ff.

Die Modellierung der einzelnen Komponenten steigert die Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Entscheidung und erlaubt eine ex post Überprüfung mit entsprechenden Lerneffekten.

2.6.1.2. Die Generierung eines gemeinsamen Zielsystems

Das gemeinsame Zielsystem entsteht durch Vereinigung der individuellen Ziele. Zielkonflikte müssen dabei beseitigt werden, hierbei kann ein Rückgriff auf Fundamentalziele häufig hilfreich sein. Ist eine Einigung auf Ziele nicht möglich, kann es sinnvoll sein, die Entscheidung sowohl mit als auch ohne die betroffenen Ziele zu fällen, um deren Auswirkung zu ermitteln. Auch hinsichtlich der Gewichtung der Ziele muss ein gemeinsames Zielsystem gefunden werden. Überschneidungen und Doppelzählungen sind zu eliminieren.

2.6.1.3. Die Erzeugung von Gruppenwertfunktionen

Durch das Fehlen einer absoluten Nutzenskala kommt es zum Problem des interpersonellen Nutzenvergleichs. *„Das Problem des interpersonellen Nutzenvergleichs ist prinzipiell unlösbar.“*⁷⁵ Es muss daher die Annahme getroffen werden, dass die individuellen Nutzen addiert werden können, ansonsten müsste die Möglichkeit von rationalen Entscheidungen in Gruppen abgelehnt werden. Können die Gruppenmitglieder dominante Alternativen erkennen, kann auf die problematische mathematische Aggregation verzichtet werden.

2.6.1.4. Die Generierung gemeinsamer Wahrscheinlichkeitsurteile

Die einzelnen Wahrscheinlichkeiten können mathematisch aggregiert werden.

2.6.1.5. Finden einer Gruppenentscheidung

Bei gemeinsamer Bestimmung der einzelnen Module kann die Lösung wie bei Einzelentscheidungen gefunden werden. Man nimmt dabei die gemeinsam ermittelten Größen für Wert, Nutzen und Wahrscheinlichkeit. Bei partiellen Informationen muss, wenn keine Dominanz existiert und keine Einigung auf gemeinsame Werte möglich ist, ein Aggregationsmechanismus angewandt werden. In diesem Fall kommt es zu keiner von allen Mitgliedern geteilten Entscheidung. Eine weitere Beschreibung dazu findet sich im folgenden Kapitel.

⁷⁵ Eisenführ/Weber (2003), S. 318.

2.6.2. Aggregation über individuelle Entscheidungen

Ist keine kooperative Lösung des Problems möglich, muss die Entscheidung durch Aggregation der individuellen Präferenzen herbeigeführt werden. Dabei gliedert sich der Entscheidungsprozess in eine Phase des Informationsaustauschs, anschließend bildet sich jedes Mitglied seine eigene individuelle Präferenzordnung und abschließend fällt die Entscheidung im Verlauf einer Abstimmung.⁷⁶

2.6.2.1. Abstimmungsregeln

Die in der Literatur von Eisenführ/Weber⁷⁷, Laux⁷⁸ und Bamberg/Coenenberg/Krapp⁷⁹ beschriebenen Abstimmungsregeln sind im Folgenden zusammengefasst:

- Das Einstimmigkeitskriterium. Jedes Mitglied hat eine Stimme, die Entscheidung fällt nur, wenn eine Alternative sämtliche Stimmen erhält. Ist dies nicht möglich, muss der Informationsbeschaffungs- und Informationsverarbeitungsprozess fortgesetzt werden. Besonders bei rasch zu treffenden Entscheidungen ist das Einstimmigkeitskriterium daher problematisch.
- Regel der einfachen Mehrheit oder Single-Vote-Kriterium. Jedes Gruppenmitglied hat eine Stimme und wählt damit seine präferierte Alternative. Die Alternative mit den meisten Stimmen gewinnt. Hier ist nur ein Wahlgang notwendig.
- Regel der absoluten Mehrheit. Jedes Gruppenmitglied hat wieder eine Stimme. Die Alternative mit mehr als 50 % gewinnt. Erreicht keine Alternative im ersten Wahlgang die 50 %, so kommt es zu einer Stichwahl zwischen den beiden Alternativen mit den meisten Stimmen.
- Die Hare-Regel. Hier erfolgt die Abstimmung in mehreren Wahlgängen, wobei jedes Mitglied jeweils eine Stimme hat. Erhält eine Alternative die absolute Mehrheit, so ist sie gewählt, ist dies nicht der Fall wird die Alternative mit der geringsten Stimmenzahl eliminiert und es erfolgt ein weiterer Wahlgang. Dies wird so lange wiederholt bis eine Alternative gewählt wurde.
- Regel der Mehrheit der Paarvergleiche. Es erfolgt ein Paarvergleich für alle möglichen Alternativenpaare. Die Gruppenpräferenz wird dabei durch eine einfache Mehrheitsregel ermittelt. Jene Alternative mit den meisten gewonnenen Paarvergleichen gewinnt.

⁷⁶ Vgl. Laux (2005), S. 405.

⁷⁷ Vgl. Eisenführ/Weber (2003), S. 335 ff.

⁷⁸ Vgl. Laux (2005), S. 421 ff.

⁷⁹ Vgl. Bamberg/Coenenberg/Krapp (2008), S. 231 ff.

- Regel der sukzessiven Paarvergleiche. Hier findet ein Paarvergleich zufällig ausgewählter Alternativen statt. Jedes Mitglied hat eine Stimme, die Alternative mit weniger Stimmen scheidet aus. Es erfolgt ein weiterer Paarvergleich, wobei wieder eine Alternative ausscheidet usw. Der Sieger des letzten möglichen Paarvergleichs ist schließlich gewählt.
- Borda-Regel. Hierbei wird die Position der Alternativen in den verschiedenen individuellen Präferenzordnungen berücksichtigt. Jedes Gruppenmitglied gibt der jeweils besten Alternative A Punkte, wobei A der Anzahl der Alternativen entspricht. Die zweitbeste Alternative erhält A-1 Punkte usw. bis für die schlechteste Alternative ein Punkt verbleibt. Für jede Alternative werden die Punkte anschließend addiert, jene mit der höchsten Punktzahl gewinnt.
- Approval Voting. Jedes Gruppenmitglied besitzt so viele Stimmen, wie es Alternativen gibt. Der Entscheider kann nun jeder Alternative eine Stimme geben oder auch nicht, er bringt dadurch zum Ausdruck, welchen Alternativen er zustimmt und welche er ablehnt. Die Alternative mit den meisten Stimmen gewinnt.

2.6.2.2. Strategisches Verhalten bei der Abstimmung

Das Abweichen von der eigentlichen Präferenzordnung, um eine „bessere“ Alternative durchzusetzen, bezeichnet man als strategisches Verhalten. Dabei können mehrere Mitglieder ihr Verhalten gezielt aufeinander abstimmen und somit eine Koalition bilden oder ein Mitglied ohne Koalition sich isoliert strategisch verhalten.⁸⁰

2.6.3. Vorteile und Probleme von Gruppenentscheidungen

*„Eine steigende Qualifikation erhöht die Qualität der Entscheidung, während wachsender Zielkonflikt und steigende Belohnungskosten sich negativ auswirken.“*⁸¹ Folgende Vorteile, Probleme und Lösungsansätze sind gegeben:

2.6.3.1. Vorteile von Gruppenentscheidungen

Durch Partizipation der Betroffenen an Entscheidungsprozessen kann die Bereitschaft der Beteiligten, getroffene Entscheidungen erfolgreich umzusetzen, tendenziell gesteigert werden.⁸² Laux sieht noch folgende weitere Vorteile:⁸³

⁸⁰ Vgl. Laux (2005), S. 426.

⁸¹ Lindstädt (1998), S. 176.

⁸² Vgl. Eisenführ/Weber (2003), S. 311.

⁸³ Vgl. Laux (2005), S. 433 ff.

- Gruppenentscheidungen bieten die Chance auf mehr und „gehaltvollere“ Informationen sowie aufgrund größeren Sachverstands bessere Rückschlüsse auf die Folgen der erwogenen Alternativen.
- Arbeiten die Mitglieder einer Gruppe nicht isoliert voneinander, kommt es zu einem arbeitsteiligen Entscheidungsprozess. Dabei werden Informationen beschafft, gegenseitig übermittelt und verarbeitet. Dies hat einen positiven Effekt auf die Informationsmenge und die Prognosefunktion der Mitglieder, es kommt daher häufig zu anderen Präferenzordnungen als bei alleiniger Entscheidung.
- Durch eine sinnvolle Arbeitsteilung können Gruppenentscheidungen unter Umständen schneller als Individualentscheidungen getroffen werden.
- Durch die Abstimmung kommt es zu einer ausgleichenden Wirkung. Damit ist die Chance verbunden, Mitglieder, die eine ungünstige Entscheidung treffen würden, zu überstimmen.
- Empirische Untersuchungen haben gezeigt, dass heterogene Gruppen sich positiv auf die Motivation auswirken.

2.6.3.2. Nachteilige Gruppeneffekte

Es besteht die Gefahr, dass sich die Mitglieder zu stark an persönlichen Zielen orientieren oder problematische Wahrscheinlichkeitsurteile abgeleitet werden.⁸⁴ Innerhalb von Gruppen wirken Mechanismen, welche von der Zusammensetzung der Gruppe und der Art der Entscheidungsaufgabe abhängen. Folgende Punkte spielen dabei laut Eisenführ/Weber⁸⁵ eine große Rolle:

- Die Kohäsion und somit der Zusammenhalt der Gruppe. Starker Zusammenhalt fördert das Streben nach einvernehmlichen Lösungen. Es kommt zu vorschnellen Einigungen ohne ausreichende Prüfung der Alternativen und zu einem Gefühl der überlegenen Kompetenz der Gruppe, welche durch Abwehr von Gegenargumenten gekennzeichnet ist.
- Bei ausgeprägten Macht- und Statusdifferenzen hat die Meinung von dominierenden Persönlichkeiten oftmals einen sachlich ungerechtfertigten Vorrang. Dies wird verursacht durch mehr Redezeit, Scheu von Mitgliedern mit niedrigerem Status oder durch unbewusste Anpassung an die Meinung Ranghöherer.

⁸⁴ Vgl. Laux (2005), S. 433.

⁸⁵ Eisenführ/Weber (2003), S. 312 f.

- Interessenkonflikte zwischen den Mitgliedern führen dazu, dass persönlich präferierte Lösungen oftmals sachlich ungerechtfertigt bevorzugt werden oder Informationen zurückgehalten werden, die schädlich für die eigenen Interessen sein können. Auch kann ein Wissensvorsprung von Gruppenmitgliedern zum eigenen Vorteil genutzt werden.

Oftmals werden die Gruppenmitglieder kognitiv überfordert. Besonders unter Zeitdruck ist es schwierig, gleichzeitig der Diskussion zu folgen und kreative Ideen zu generieren. Auch geraten Vorschläge während einer Diskussion wieder in Vergessenheit oder Argumente gewinnen fälschlicherweise durch wiederholte Äußerung an Einfluss. Dadurch konzentriert sich die Diskussion zu früh auf wenige Alternativen.

2.6.3.3. Mögliche Abhilfe

Es existiert eine Vielzahl von Konzepten, um die zuvor beschriebenen Mängel zu beseitigen. Stellvertretend werden zwei häufig verwendete Verfahren behandelt, es gibt jedoch eine große Anzahl weiterer Methoden, wie z. B. Brainwriting oder die Reizwortanalyse.⁸⁶

2.6.3.3.1. Brainstorming

Thommen⁸⁷ nennt folgende Grundregeln für das Brainstorming:

- Die Ideen sollen spontan geäußert werden. Jede wird protokolliert, auch wenn sie unrealistisch ist oder das Problem nicht direkt löst.
- Es kann an zuvor geäußerte Ideen angeknüpft und diese weiterentwickelt werden.
- Jeglicher Kommentar, insbesondere Kritik sind untersagt, um die Phantasie der Teilnehmer nicht zu blockieren.

Brainstorming lebt von der Kreativität und Spontaneität der Teilnehmer, um dies zu ermöglichen soll eine ungezwungene Atmosphäre geschaffen werden.

2.6.3.3.2. Nominal Group Technique

Levi⁸⁸ beschreibt die Vorgehensweise der Nominal Group Technique wie folgt:

1. Jeder Teilnehmer entwickelt seine eigenen Ideen und schreibt diese für sich nieder.
2. Anschließend werden die Ideen allen Gruppenteilnehmern präsentiert und für alle einsehbar niedergeschrieben.
3. Es dürfen Fragen zu den Ideen gestellt werden, Kritik ist jedoch verboten.

⁸⁶ Vgl. Hartschen/Scherer/Brügger (2009), S. 26 ff.

⁸⁷ Vgl. Thommen (2007), S. 255.

⁸⁸ Vgl. Levi (2010), S. 158.

4. Die Gruppenmitglieder stellen mittels eines vorgegebenen Verfahrens eine Rangordnung der Ideen auf und wählen so die von der Gruppe präferierte Lösung aus. Durch die vorgegebene Vorgehensweise wird verhindert, dass dominante Teilnehmer andere von der Diskussion ausschließen und man sich zu früh auf einen Vorschlag fokussiert. Sind sich die Teilnehmer zusätzlich noch unbekannt, kann der Einfluss sozialer Beziehungen auf die Entscheidung ausgeschlossen werden.

3. Das Entscheidungsproblem

3.1. Organisatorisches Umfeld

3.1.1. Die Firmengruppe

Das hier untersuchte Entscheidungsproblem betrifft die Fa. Machines Highest Mechatronic GmbH (kurz MHM) mit Sitz in Erl/Tirol. MHM ist Teil der Arioli Gruppe, welche sich auf unterschiedlichen Bereichen der Textilienveredelung betätigt. Hauptsitz der Gruppe ist in Gerenzano/Italien.

3.1.2. Die Fa. MHM

Die Fa. MHM ist ein mittelständischer Betrieb⁸⁹ mit etwa 50 Mitarbeitern sowie einem durchschnittlichen Jahresumsatz von ca. 15 Mio. €. Es handelt sich dabei um einen klassischen Maschinenbaubetrieb mit den Hauptbereichen mechanische Fertigung und Maschinenmontage. Alle Betriebsbereiche sind am Firmensitz in Tirol angesiedelt, der Vertrieb sowie die Serviceleistungen werden durch ein weltweites Netz von Partnerunternehmen organisiert.

3.1.3. Tätigkeitsfeld des Unternehmens

Das Tätigkeitsfeld umfasst die Herstellung und den Vertrieb von Druckmaschinen sowie Zubehör zum Bedrucken von Textilien, in Einzelfällen auch von anderen Trägermaterialien. Bei den Trägermaterialien handelt es sich ausnahmslos um Stückware, das vor dem Druckvorgang bereits in die endgültige Form gebracht wurde. Der Stückguttransport erfolgt dabei im Karussell-, der eigentliche Druckvorgang im Siebdruckverfahren, man spricht daher auch von Karussell-Siebdruckmaschinen. Mit Ausnahme von Be- und Entladen der Maschine mit dem Trägermaterial erfolgt der Druckvorgang vollautomatisch.

⁸⁹ Nach österreichischer Einteilung gemäß UGB (idF v. 1.4.2009) §221.



Abbildung 4: Karussellsiebdruckmaschine für T-Shirt-Druck

3.1.4. Absatzmärkte

In der Vergangenheit konnte ein häufiges Wechseln der Absatzmärkte für Textilmaschinen beobachtet werden. War Anfang dieses Jahrhunderts die Türkei noch der mit Abstand größte Absatzmarkt für europäische Textilmaschinenhersteller, so verschoben sich die Märkte innerhalb weniger Jahre deutlich in Richtung Billiglohnländer in Asien und Südamerika. Die Textilindustrie reagierte dabei stets äußerst kostenempfindlich, aktuell kann bereits eine Abwanderungstendenz aus China in nochmals günstigere Länder wie Bangladesch oder Vietnam beobachtet werden. Grund hierfür sind gestiegene Personalkosten und höhere Umweltauflagen.

3.1.5. Marktsituation und Mitbewerber

Die aktuell hergestellten Maschinen gelten als technologisch führend und sind am oberen Ende der Preisspanne angesiedelt. Neben etwa zehn weltweit agierenden Herstellern entsprechender Maschinen existiert zusätzlich eine Vielzahl von nur lokal tätigen Unternehmen, der Spielraum bei der Preisgestaltung ist daher stark eingeschränkt.

3.1.6. Entwicklung der letzten Jahre

Beginnend mit dem Jahr 2006 kam es zu einem schleichenden Umsatz- und Auftragsrückgang. Seitens der Geschäftsführung wurde darauf mit einem Personalabbau von ehemals etwa 100 Mitarbeitern auf etwa 50 Mitarbeiter reagiert. Der durch die Wirtschafts- und Finanzkrise verursachte Einbruch in den Jahren 2008 und 2009 führte zur Konkursöffnung, im Zuge dessen die Firma an die Arioli-Gruppe verkauft wurde. Der neue Eigentümer versucht aktuell durch Umstrukturierung und Neuausrichtung das Unternehmen auf eine breitere und solidere Basis für zukünftige Herausforderungen zu stellen. Die Ursachen für die Probleme der letzten Jahre werden von der Geschäftsführung in folgenden Punkten gesehen:

- **Wechselkursproblematik:**

Die Kopplung vieler Währungen der Hauptabsatzmärkte an den Dollar mit der entsprechenden Wechselkursentwicklung erschwerte den Maschinenabsatz, hiervon profitierte u. a. der Hauptkonkurrent aus den USA. Die im Jahr 2010 stattgefundenen Entspannung beim Wechselkurs führte zu einer spürbaren Erholung der Nachfrage, eine entsprechende Abhängigkeit ist daher anzunehmen.

- **Konkurrenz durch Plagiate:**

Speziell im asiatischen Raum kamen neue Mitbewerber, mit zum Teil unseren Maschinen sehr ähnlichen Typen, auf den Markt. Die Anzahl der Nachbauten hat weltweit in den letzten Jahren stark zugenommen. Gleichzeitig ist ein Durchsetzen von berechtigten Forderungen in vielen Teilen Asiens und Südamerika gar nicht oder nur schwer möglich. Die Kompensation von höheren Preisen durch bessere technische Lösungen oder durch spürbar bessere Qualität ist dabei nur beschränkt möglich.

- **Niedrige Investitionsbereitschaft und schwierige Finanzierungsmöglichkeiten:**

Die während der Finanz- und Wirtschaftskrise stark gesunkene Investitionsbereitschaft sowie die für Kunden schwierigen Finanzierungsmöglichkeiten drückten auf den Maschinenabsatz.

3.1.7. Vorgaben für die Zukunft

Eine der Maßnahmen der neuen Eigentümer zur Verbesserung der Firmensituation ist die Entwicklung einer neuen Maschinengeneration zur Festigung der Technologieführerschaft des Unternehmens. Das Thema dieser Arbeit – Auswahl des optimalen Steuerungssystems für Karussell-Siebdruckmaschinen – ist Teil dieser Maßnahme.

3.2. Themenbeschreibung

3.2.1. Technische Beschreibung

Für die Steuerung von Karussell-Siebdruckmaschinen soll ein für die Zukunft optimales Steuerungssystem gefunden und entwickelt werden. Aufgabe des Steuerungssystems ist dabei die Steuerung verschiedener automatischer Programmabläufe sowie die Überwachung gewisser Parameter. Je nach Konfiguration und Einstellung werden unterschiedliche Abläufe ausgeführt, abhängig von der Maschinentype wird eine unterschiedliche Anzahl von Ein- und Ausgängen benötigt. Als Mensch-Maschine-Schnittstelle ist eine Bedien- und Visualisierungseinheit vorzusehen.

3.2.2. Bisherige Entscheidungsfindung

Die bisherige Entscheidungsfindung war sehr stark durch den Eigentümer des Unternehmens geprägt. Entsprechend aktueller Vorstellungen und Einflüsse wurden entsprechende Entscheidungen getroffen, ein nachvollziehbarer Rahmen war nicht gegeben.

3.2.3. In der Vergangenheit eingesetzte Steuerungssysteme

In der Vergangenheit wurden bereits unterschiedlichste Arten von Steuerungssystemen eingesetzt. So kam bei den ersten Maschinen in den 1980er Jahren ein durch ein Partnerunternehmen entwickeltes Steuerungssystem zum Einsatz. In den 1990er Jahren entschied man sich bei einigen Maschinentypen für ein standardisiertes Steuerungssystem eines namhaften Elektronikherstellers, andere Typen wurden aufgrund technologischer Notwendigkeiten weiterhin mit einer firmenspezifischen Eigenentwicklung ausgerüstet. Im Jahr 2004 wurde bei allen Maschinen wieder auf ein firmenspezifisches Steuerungssystem gewechselt. Durch die in der Vergangenheit gemachten Erfahrungen sind die Vor- und Nachteile der jeweiligen Lösungen ausreichend bekannt und können gut gegeneinander abgewogen werden.

3.2.4. Vorgehensweise bei der Entscheidungsfindung

Das hier vorliegende Entscheidungsproblem beinhaltet sowohl monetäre als auch nicht monetäre Kriterien, die Bewertung erfolgt dabei durch quantitative und qualitative Beurteilungen. Um das Entscheidungsproblem überschaubar zu halten, erfolgt die Ermittlung der Kosten für einen durchschnittlichen Maschinentyp mit 12 Druckstationen. Die abweichenden Ergebnisse für andere Konfigurationen sollten sich durch die angenommene Normalverteilung bei den Maschinentypen überwiegend gegenseitig aufheben. Das neu zu entwickelnde Steuerungssystem soll über einen Zeitraum von ca. sieben Jahren zum Einsatz

kommen, diese Annahme beruht auf Erfahrungen mit bisherigen Steuerungssystemen. Die in den nächsten sieben Jahren zu erwartenden Absatzzahlen der Maschinen lassen sich nur schwer prognostizieren, speziell die Jahre 2008 und 2009 haben gezeigt wie fehlerhaft derart langfristige Prognosen sind. Ausgehend vom guten wirtschaftlichen Umfeld, der guten Marktentwicklung im Jahr 2010 und eines relativ hohen durchschnittlichen Alters der bei den Kunden installierten Maschinen wird mit einer positiven Entwicklung für die nächsten Jahre gerechnet. Die Entscheidung soll trotzdem bei vorsichtiger Schätzung des Maschinenabsatzes getroffen werden. In den letzten Jahren konnten zwischen 150 und 400 Maschinen abgesetzt werden, als erreichbares Ziel werden daher 200 Stück pro Jahr angenommen. Die zukünftige Zinsentwicklung lässt sich ebenfalls nur schwer abschätzen. Da sowohl Zinsen als auch die zu erwarteten Einkaufspreise durch die Verwendung gleicher Technologie für alle untersuchten Alternativen sich gleich entwickeln dürften, wird auf eine Umrechnung zukünftiger Zahlungen in Barwerte verzichtet. Somit werden alle Umwelteinflüsse als sicher angenommen, zur Lösung des Entscheidungsproblems soll daher die Nutzwertanalyse herangezogen werden.

Ziel dieser Arbeit ist die Auswahl des unter Beachtung aller relevanten Faktoren optimalen Steuerungssystems. Hierzu fließen sowohl die eigenen Erfahrungen aus 30 Jahren Maschinenbau sowie die Erfahrung unserer weltweiten Vertriebspartner in die Entscheidung mit ein. Als Ergebnis soll eine möglichst objektive und nachvollziehbare Entscheidung getroffen werden, die im Idealfall von allen Beteiligten getragen wird.

3.3. Definition des Zielsystems

3.3.1. Entscheidungsträger

Die Definition des Zielsystems erfolgte gemeinsam in einer Gruppe. Anwesend waren dabei von der Fa. MHM die verantwortlichen Personen der Abteilungen Verkauf, Service, Produktion, Entwicklung sowie die Geschäftsführung. Zusätzlich wurden erfahrene Personen von Vertriebspartnern zur Besprechung eingeladen.

3.3.2. Ideensammlung

Die Ideensammlung erfolgte in Form eines Brainstormings. Dabei wurden alle von den einzelnen Gruppenmitgliedern als relevant betrachteten Punkte in eine Liste aufgenommen. Es erfolgte keinerlei Wertung, alle genannten Punkte (Doppelnennungen ausgenommen) wurden eingetragen. Folgende Kriterien wurden genannt:



Abbildung 5: Ergebnis Brainstorming

3.3.3. Erstellung des Zielsystems

In einer Gruppendiskussion wurde ein von allen Gruppenmitgliedern akzeptiertes Zielsystem erstellt. Um die folgende Entscheidung transparent zu halten, wurden Ziele mit sehr geringer Relevanz gestrichen sowie ähnliche Ziele zusammengefasst. Auch Ziele, die von vornherein zu gleichen Ergebnissen bei allen in Frage kommenden Varianten führen, wurden eliminiert. Schwieriger als die Erstellung des Zielsystems erwies sich die Festlegung von Zielgewichten. Zur systematischen Festlegung der Zielgewichte in einer Gruppe erfolgte ein paarweiser Vergleich der Kriterien mit Erstellung eines Präferenzdreiecks (auch Präferenz-Matrix genannt).⁹⁰ Dabei reichte bei jedem Vergleich die einfache Mehrheit zur Bestimmung des Siegers. Bei einem ersten Versuch wurden jedoch folgende Probleme festgestellt:

- Bei fünf Kriterien kann für ein Kriterium maximal 40 % erreicht werden, dies erscheint für die Kosten als zu wenig.
- Der paarweise Vergleich wird in keinem Fall von der Stör- und Ausfallsicherheit gewonnen. Es soll jedoch nicht völlig darauf verzichtet werden.

Zur Lösung der Probleme wurde von mir folgender Lösungsansatz ausgearbeitet und von allen Gruppenmitgliedern akzeptiert:

- Festlegung des Zielgewichts für die Kosten mit 50 %. Der paarweise Vergleich erfolgt ohne die Kosten, dabei werden die restlichen 50 % aufgeteilt.
- Um jedem Kriterium mindestens ein Gewicht von 5 % zuzuordnen, wird ein Zusatzkriterium ohne Relevanz ins Präferenzdreieck aufgenommen. Somit gewinnt jedes der ursprünglichen Kriterien mindestens einen Vergleich. Da bei fünf Kriterien es zu zehn paarweisen Vergleichen kommt, bedeutet jeder gewonnene Vergleich ein Zielgewicht von 5%.

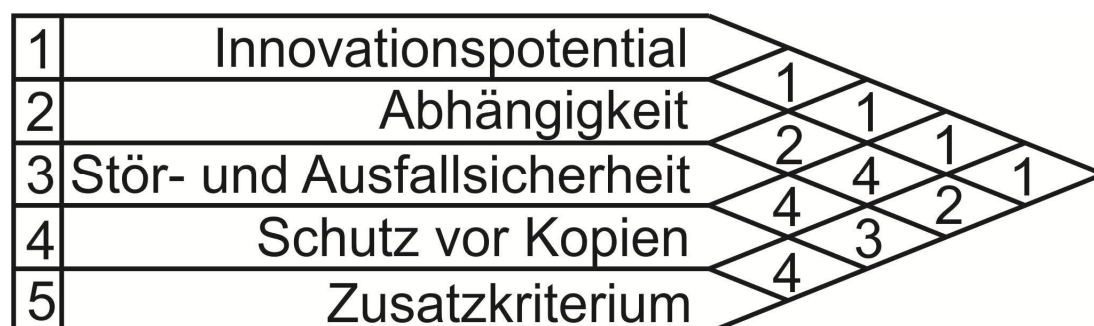


Abbildung 6: Präferenzmatrix zur Ermittlung der Zielgewichte

⁹⁰ Die Vorgehensweise bei der Erstellung eines Präferenzdreiecks beschreiben Dincher (2008), S. 3, Gruschka/Schnitzenbaumer (2008), S. 74 f., Hartschen/Scherer/Brügger (2009), S. 55 ff., Weber (2005), S. 8 ff.

Somit ergibt sich:

- Innovationspotential: 4 gewonnene Vergleiche $\Rightarrow$ 20 %
- Abhängigkeit: 2 gewonnene Vergleiche $\Rightarrow$ 10 %
- Stör- und Ausfallsicherheit: 1 gewonnener Vergleich $\Rightarrow$ 5 %
- Schutz vor Kopien: 3 gewonnene Vergleiche $\Rightarrow$ 15 %

Das Ergebnis wurde mittels Mindmap in einem Zielbaum festgehalten:

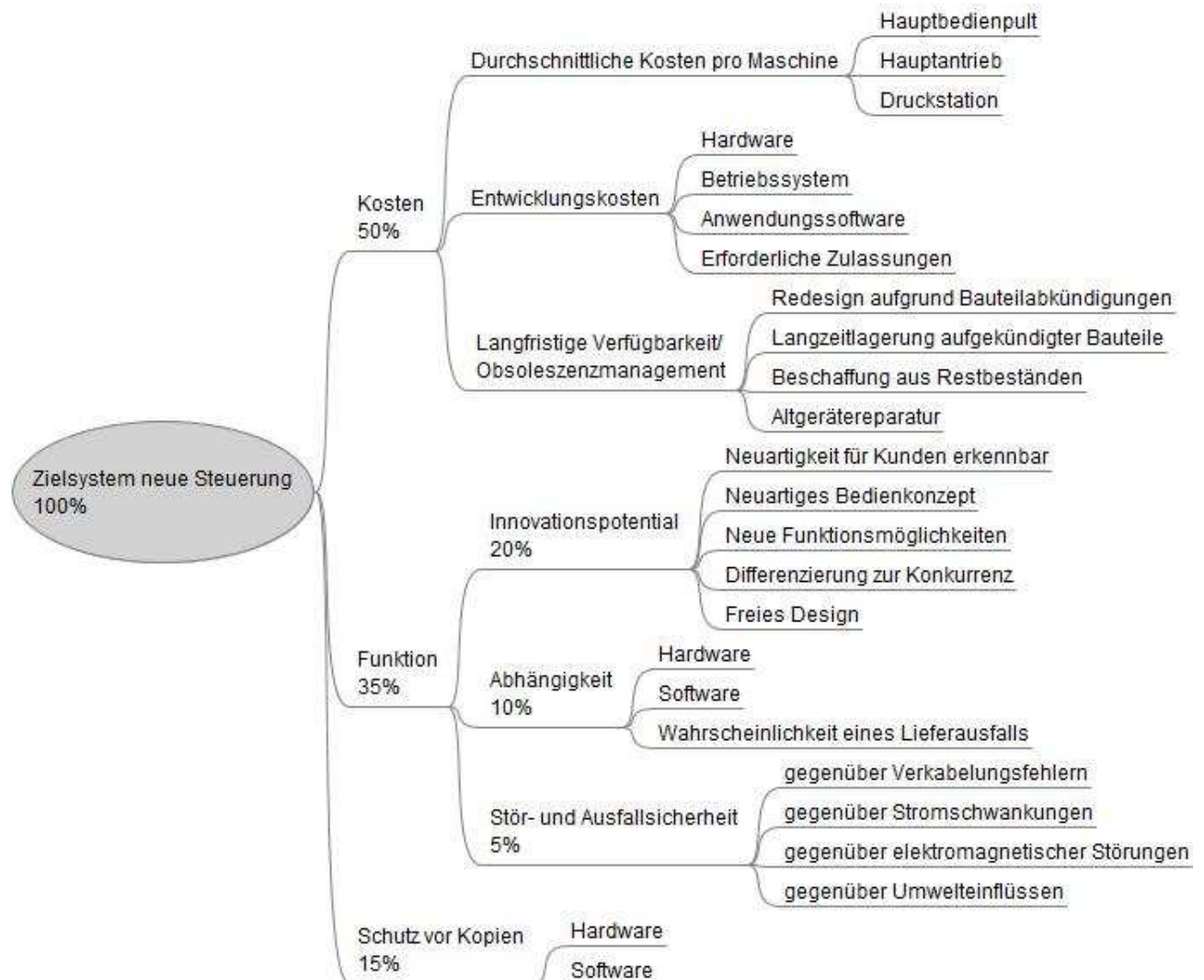


Abbildung 7: Zielsystem mit Zielgewichten

3.4. Alternativensuche

3.4.1. Entscheidungsträger

Ab diesem Zeitpunkt fungierte ich persönlich als alleiniger Entscheidungsträger. Dies deshalb, da ich als Einziger im Unternehmen über eine ausreichende Marktkennntnis sowie über das notwendige technische Know-how verfüge.

3.4.2. Grundsätzliche Lösungsansätze

3.4.2.1. Hardware

Folgende theoretische Möglichkeiten sind gegeben:

1. Entwicklung und Fertigung von firmenspezifischer Hardware im Haus.
2. Entwicklung der firmenspezifischen Hardware im Haus und externe Fertigung.
3. Sowohl Entwicklung als auch Fertigung der firmenspezifischen Hardware extern.
4. Zukauf einer Serienhardware in für uns benötigter Konfiguration.

Die Punkte 1 und 2 sind aufgrund des fehlenden Know-hows nicht realisierbar. Der geschätzte Entwicklungsaufwand für die Hardware liegt bei 3 Mannmonaten⁹¹. Anschließend ist kein weiterer Bedarf für einen Hardwareentwickler mehr gegeben, eine Anstellung eines passenden Mitarbeiters macht daher keinen Sinn.

3.4.2.2. Software

Für die hausinterne Erstellung der Software gilt dieselbe Problematik wie bei der Hardware. Hierzu wird ein Zeitaufwand von 6 Mannmonaten⁹² geschätzt, anschließend fallen nur noch kleinere Änderungen und gelegentlich die Programmierung von Optionen an. Für die Änderungen und Optionen sind meine Programmierkenntnisse ausreichend, die Programmierung der kompletten Software kann durch einen Spezialisten jedoch deutlich schneller und somit auch günstiger erfolgen. Für einen fix angestellten Spezialisten wäre nach Abschluss des Projekts kein weiterer Bedarf mehr gegeben. Auch kann durch Beauftragung eines externen Teams die Entwicklungszeit deutlich reduziert und die von der Geschäftsführung geforderte schnelle Umsetzung besser erfüllt werden. Die Art der verwendeten Hardware hat auf diese Entscheidung keinen Einfluss, mit der Erstellung der Software muss unabhängig davon ein externes Unternehmen beauftragt werden.

⁹¹ Vgl. Koch (2001): Mannmonat.

⁹² Ebd.

3.4.2.3. Funktionelle Ausführung

Eine mögliche Einteilung der Hardware erfolgt durch die Lokalisation der benötigten Ein- und Ausgänge. Diese können zentral auf der Maschine positioniert oder dezentral an den Druckstationen angebracht sein. Eine zentral angeordnete Steuerung kann aufgrund der fehlenden Busankoppelungen sowie der Ausführung als eine Einheit günstiger produziert werden, dafür steigt der Verkabelungsaufwand zu den Druckstationen. Eine dezentrale Lösung besitzt die notwendigen Ein- und Ausgänge schon in der benötigten Region, der Verkabelungsaufwand sinkt dadurch. Dafür müssen die einzelnen Module durch teure Kommunikationsschnittstellen miteinander verbunden werden. Für den Endkunden machen beide Varianten keinen Unterschied, daher wird bei gleichem Funktionsumfang die zentrale Lösung aus Kostengründen bevorzugt. Ein dezentrales Konzept bietet jedoch die Möglichkeit, die einzelnen Einheiten nahezu beliebig um neue Features zu erweitern, aufgrund fehlender Ein- und Ausgänge ist dies bei einer zentralen Ausführung nicht möglich. Für das hier untersuchte Entscheidungsproblem werden somit folgende zwei Varianten in Betracht gezogen:

- Zentrale Lösung mit Basisfunktionalität. Diese beinhaltet alle bisher auf den Maschinen verfügbaren Funktionen.

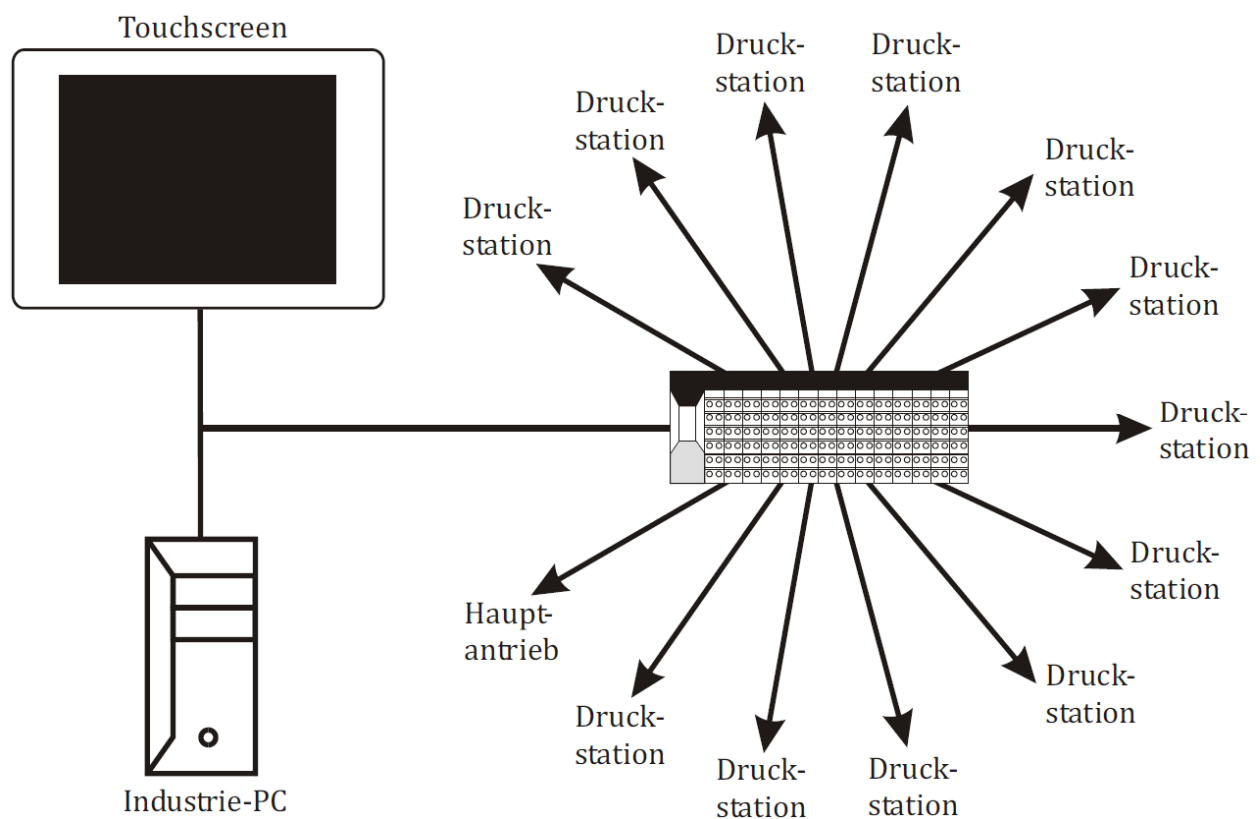


Abbildung 8: Schema einer zentralen Steuerung

- Dezentrale Lösung mit eigener Anzeigeeinheit, erweiterter Bedienmöglichkeit sowie einer Konfigurationsmöglichkeit auf den Stationen.

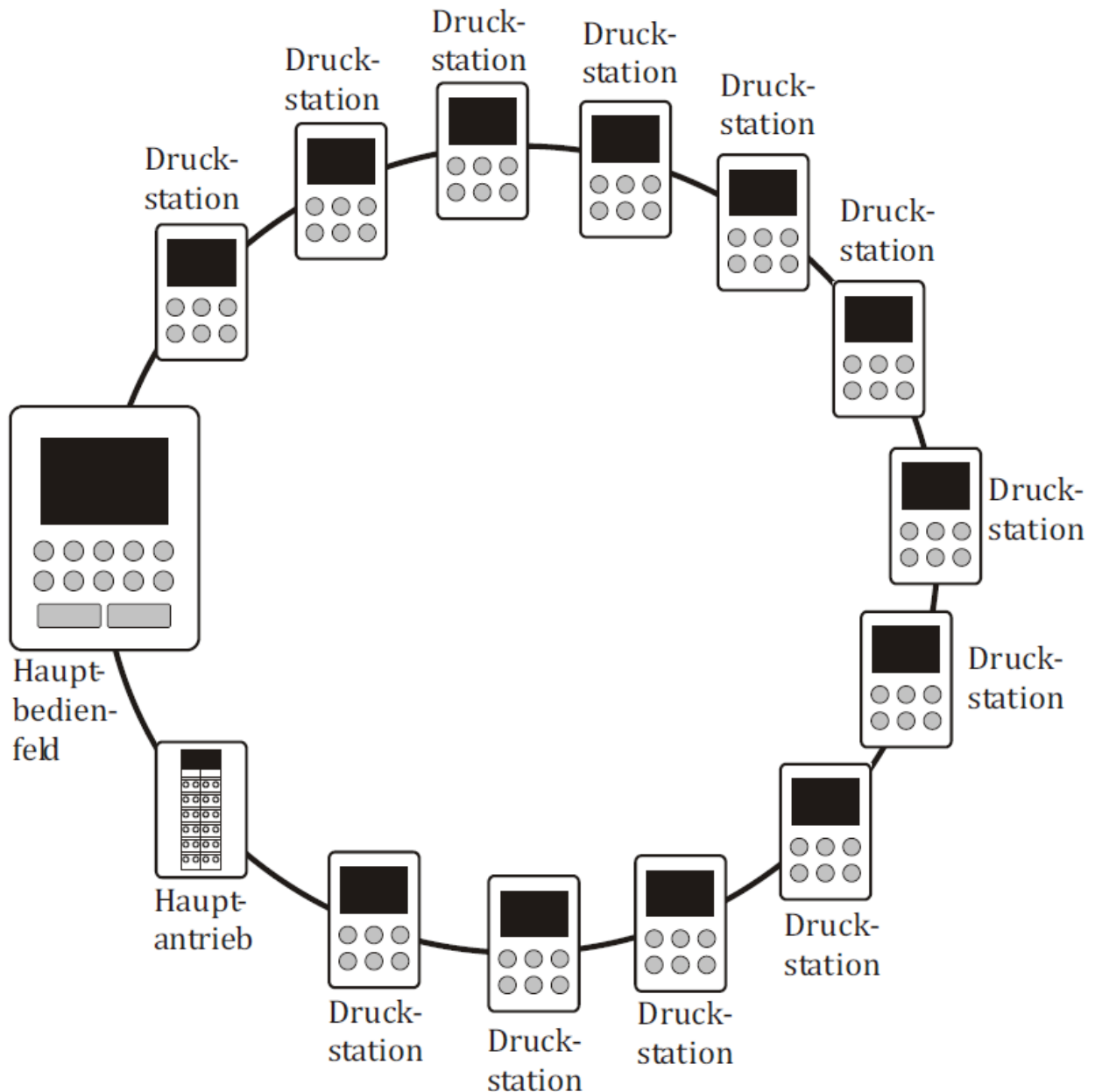


Abbildung 9: Schema einer dezentralen Steuerung

3.4.3. Untersuchte Alternativen

Durch Kombination der realistischen Lösungsansätze erhält man die zu untersuchenden Alternativen. Diese sind:

- Zukauf eines standardisierten Steuerungssystems in zentraler Ausführung mit Basisfunktionalität.
- Zukauf eines standardisierten Steuerungssystems in dezentraler Ausführung mit erweiterter Funktionalität.

- Externe Entwicklung und Fertigung einer firmenspezifischen Hardware in zentraler Ausführung mit Basisfunktionalität.
- Externe Entwicklung und Fertigung einer firmenspezifischen Hardware in dezentraler Ausführung mit erweiterter Funktionalität.

Als Lieferant für standardisierte Steuerungssysteme wird die Fa. Bernecker + Rainer Industrie Elektronik Ges.m.b.H. (kurz B&R) aufgrund von Erfahrungswerten aus vergangenen Projekten gewählt. Bei der Entwicklung einer firmenspezifischen Hardware sind Kenntnisse vom aktuellen Produkt von Vorteil, als Entwicklungspartner kommt deshalb der aktuelle Steuerungslieferant Inntal Electronic Loecker GmbH (kurz InEL) in Frage. Die Fa. InEL entwickelt sowohl Hard- als auch Software, aus diesem Grund soll die Softwareentwicklung für beide Fälle angeboten werden. Dabei ist auf eine deutliche Trennung zwischen Anwendungssoftware, Betriebssystem, Treiber und Programmierungsumgebung zu achten. Sowohl Betriebssystem, Treiber als auch die Programmierungsumgebung sind bei B&R Teil des Angebots über die Hardware.

3.5. Ermittlung der Ergebniserwartungen

3.5.1. Kosten

3.5.1.1. Hardwarekosten pro Maschine

Die zuvor getroffene Festlegung auf eine Maschine mit 12 Druckstationen benötigt folgende Hardware:

- Zentrale Ausführung
 - 156 digitale Eingänge (kurz DI).
 - 104 digitale Ausgänge (kurz DO).
 - Busschnittstelle für Umrichter (z. B CAN).
 - Bedienung und Visualisierung über einen großes Touch-PC (15").
- Dezentrale Ausführung
 - Einheit Hauptantrieb mit 12 DI und 8 DO und einer Busschnittstelle (z. B CAN).
 - Je Druckstation 4 DI und 8 DO sowie eine kleine Visualisierungs- und Eingabeeinheit.
 - Kleinere Einheit für Bedienung und Visualisierung als bei Variante 1.

3.5.1.1.1. Standardisiertes Steuerungssystem mit Basisfunktionalität

Das von B&R angebotene Steuerungssystem in zentraler Ausführung umfasst folgende Hauptkomponenten:

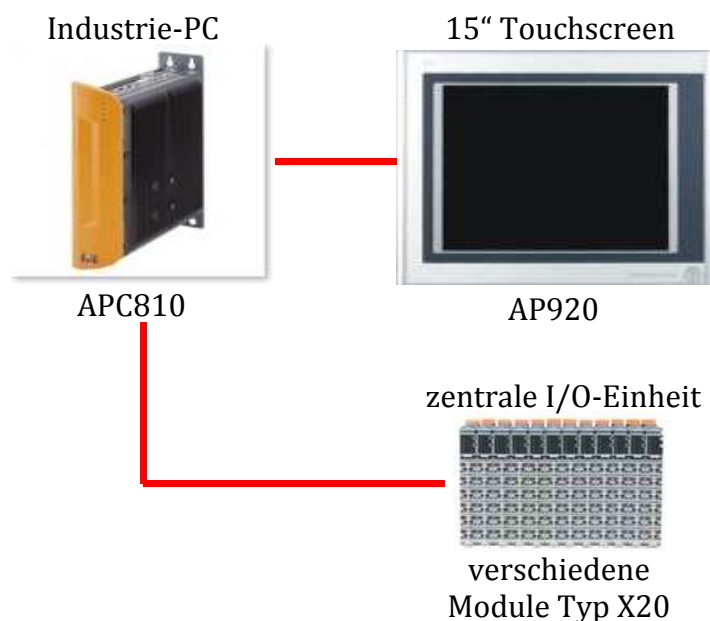


Abbildung 10: Hauptkomponenten B&R in zentraler Ausführung

Die Hauptkomponenten beinhalten folgende Baugruppen:

Pos.	Anzahl	Beschreibung
Industrie-PC mit integrierter Steuerung		
1	1 Stk.	APC810 Systemeinheit
2	1 Stk.	CPU Board mit Intel Atom N270, 1,6 GHz
3	1 Stk.	512 MByte RAM PC2-5300
4	1 Stk.	Kühlkörper
5	1 Stk.	Buseinheit
6	1 Stk.	Steckverbinder
7	1 Stk.	Compact Flash 64 Mbyte
8	1 Stk.	Schnittstellenkarte mit X2X Link Master und CAN Schnittstelle
15\" Touchscreen		
1	1 Stk.	Automation Panel AP920 15\" TFT resistiv
2	1 Stk.	Schnittstellenkarte Automation Panel Link SDL Empfänger
3	1 Stk.	Steckverbinder
Zentrale I/O-Einheit		
1	1 Stk.	X20 Busempfänger X2X Link
2	13 Stk.	X20 Digitales Eingangsmodul
3	9 Stk.	X20 Digitales Ausgangsmodul
4	1 Stk.	X20 Einspeisebusmodul
5	21 Stk.	X20 Busmodul
6	22 Stk.	X20 Feldklemme

Tabelle 3: Komponenten B&R in zentraler Ausführung

Der Gesamtpreis für eine derartige Einheit bei einem Rahmenvertrag über mindestens 200 Stück pro Jahr beträgt 3331,50 €.⁹³

3.5.1.1.2. Standardisiertes Steuerungssystem mit erweiterter Funktionalität

Für die erweiterte Funktionalität wurde seitens B&R folgendes Konzept angeboten:

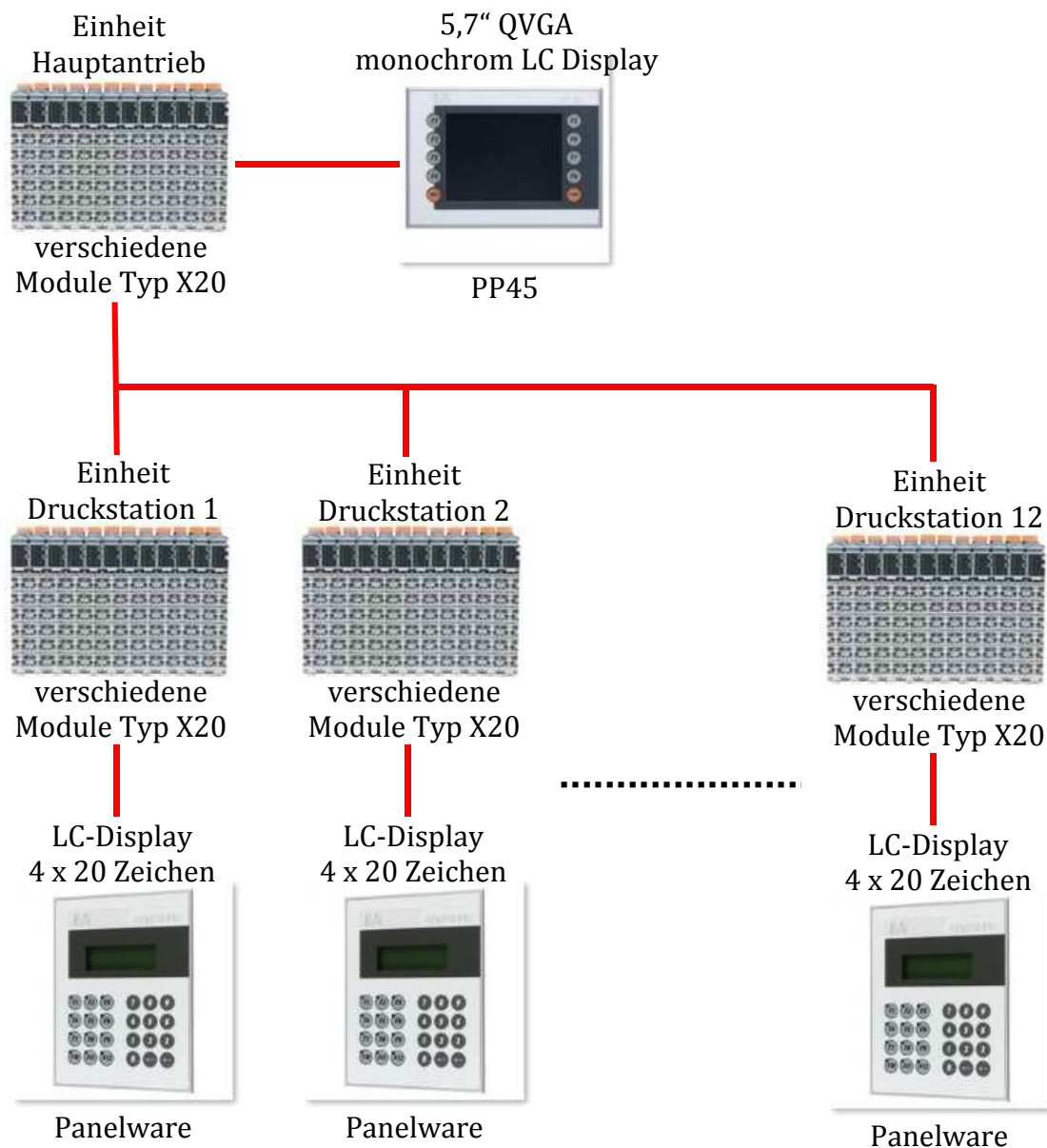


Abbildung 11: Hauptkomponenten B&R in dezentraler Ausführung

⁹³ Vgl. Anhang: Angebot B&R.

Die Hauptkomponenten bestehen hier aus folgenden Baugruppen:

Pos.	Anzahl	Beschreibung
Einheit Hauptantrieb		
1	1 Stk.	Power Panel PP45 5,7" QVGA monochrom LC-Display mit Touchscreen
2	1 Stk.	PP45 Schnittstellenmodul CAN
3	1 Stk.	Steckverbinder
4	1 Stk.	Compact Flash 64 Mbyte
5	1 Stk.	X20 Busempfänger X2X Link
6	1 Stk.	X20 Digitales Eingangsmodul
7	1 Stk.	X20 Digitales Ausgangsmodul
8	1 Stk.	X20 Einspeisebusmodul
9	2 Stk.	X20 Busmodul
10	3 Stk.	X20 Feldklemme
Zentrale I/O-Einheit		
1	1 Stk.	X20 Busbasis
2	1 Stk.	X20 Einspeisemodul I/O und X2X Versorgung
3	1 Stk.	X20 Buscontroller POWERLINK
4	1 Stk.	X20 Digitales Mischmodul
5	1 Stk.	X20 Bussender X2X Link
6	2 Stk.	X20 Busmodul
7	3 Stk.	X20 Feldklemme
8	1 Stk.	PANELWARE Compact HMI, 4 x 20 Zeichen, LC-Display

Tabelle 4: Komponenten B&R in dezentraler Ausführung

Aus den Kosten von 700,70 € für die Einheit Hauptantrieb und den 390 € je Druckstation ergeben sich für eine Druckmaschine mit zwölf Druckstationen Gesamtkosten in der Höhe von 5380,70 €. ⁹⁴

⁹⁴ Vgl. Anhang: Angebot B&R.

3.5.1.1.3. Firmenspezifische Hardware mit Basisfunktionalität

Die firmenspezifische Hardware mit Basisfunktionalität besteht nur aus einem Industrie-PC mit Touchdisplay und integrierter Recheneinheit sowie einer I/O-Platine zum Anschluss der Signale von Hauptantrieb und Druckstationen.

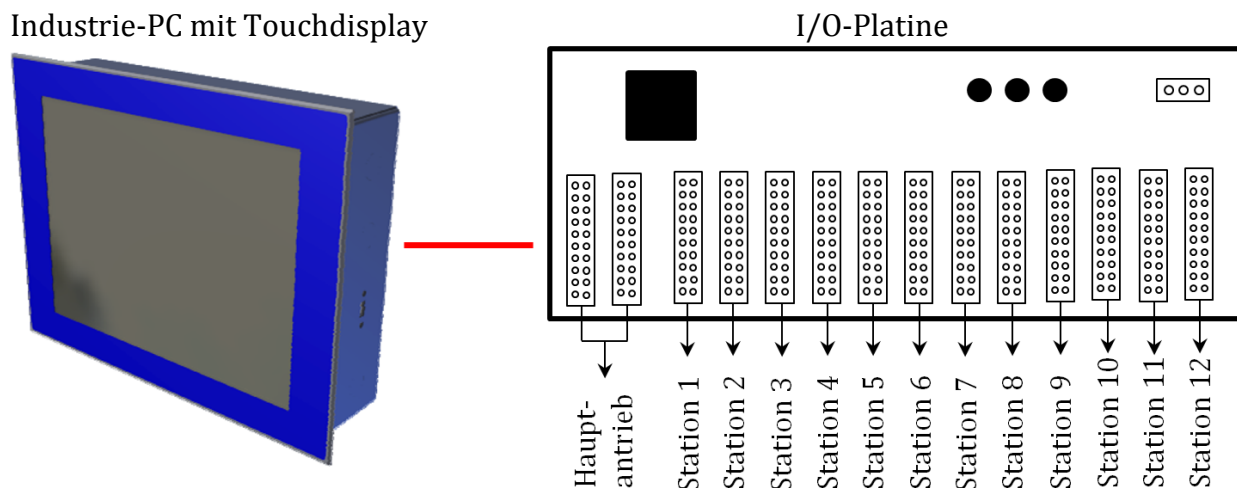


Abbildung 12: Firmenspezifische Hardware in zentraler Ausführung

Das Display ist wie auch bei B&R 15“ groß, besitzt eine resistive Touchfunktion und hat die Recheneinheit im Gehäuse integriert. Als CPU kommt ein Intel-Atom N270 mit 1,6 GHz zum Einsatz, die Rechenleistung ist somit mit B&R identisch. Die I/O-Platine ist für den Anschluss von bis zu zwölf Stationen ausgelegt. Werden mehr Stationen benötigt, so muss eine zweite Platine verbaut werden, bei weniger Stationen werden die entsprechenden Anschlüsse nicht belegt. Auf die Entwicklung weiterer Platinenausführungen mit geänderter Anschlussanzahl wird verzichtet, da die dadurch zu erzielenden Einsparungen durch die Entwicklungskosten, höhere Stückkosten durch geringere Stückzahlen und höhere Logistikkosten größtenteils kompensiert würden. Die Kosten der Komponenten betragen bei 200 Stück pro Jahr laut Angebot der Fa. InEL⁹⁵ für den Industrie-PC 1050 € und für die I/O-Platine 460 €, somit ergibt sich ein Gesamtpreis pro Maschine von 1510 €.

3.5.1.1.4. Firmenspezifische Hardware mit erweiterter Funktionalität

Ähnlich wie beim standardisierten Steuerungssystem ersetzt auch hier ein kleineres Display den 15“ Touchscreen. Auf den Stationen sowie für den Hauptantrieb werden eigene Anzeige- und Bediengeräte für eine bessere Bedienbarkeit verbaut. Die jeweils benötigten Ein- und Ausgänge befinden sich direkt am Gerät.

⁹⁵ Vgl. Anhang: Angebot InEL.

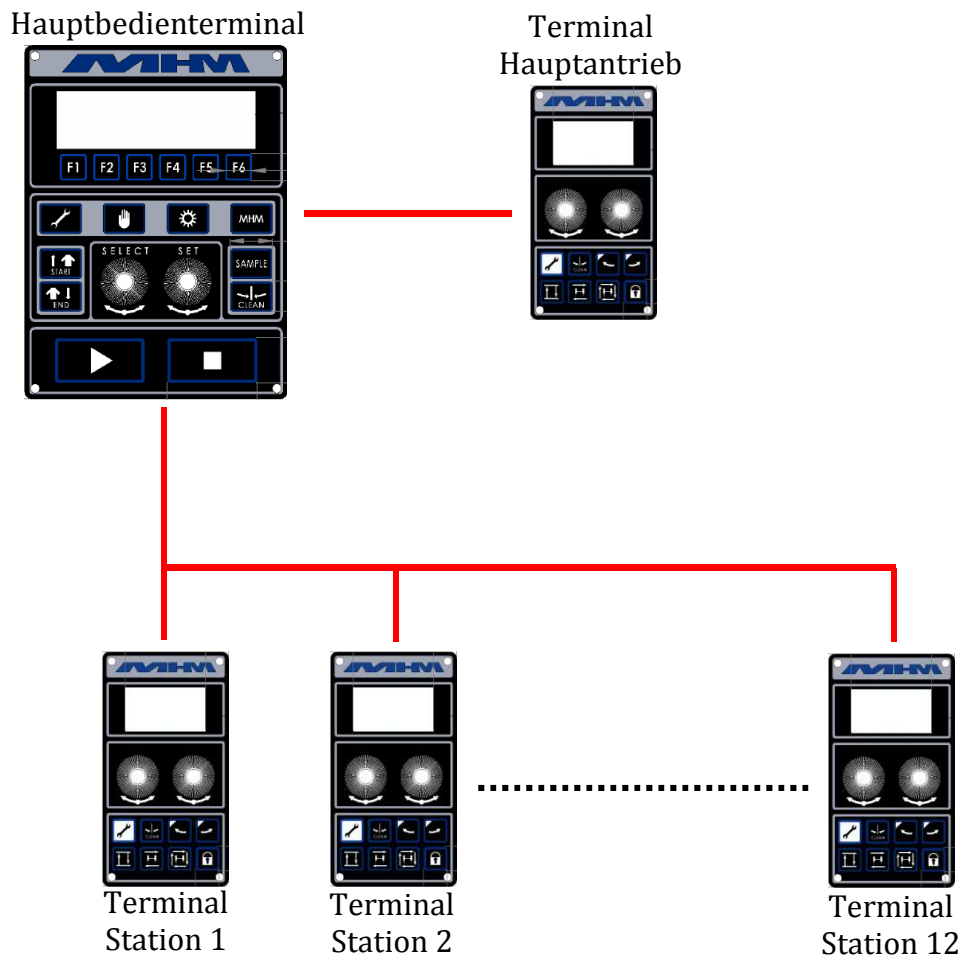


Abbildung 13: Firmenspezifische Hardware in dezentraler Ausführung

Anstelle eines Touchdisplays kommt hier ein kleineres LCD-Display mit Folientastatur zum Einsatz. Die Anzeige selbst ist dabei monochrom, durch unterschiedliche Hintergrundfarben können jedoch Zustände wie anstehende Fehler deutlich signalisiert werden. Gleiches gilt auch für die Stationsdisplays, diese sind jedoch deutlich kleiner. Für eine einfache Bedienung von Menüstrukturen wurden die Geräte mit zwei Inkrementaldrehgebern ausgestattet. Die dadurch mögliche Dreh- und Drückfunktion ähnlich dem Scrollrad von Computermäusen erlaubt eine einfache Menübedienung sowie die Eingabe von Daten. Für das Hauptbedienterminal und das Hauptantriebsterminal betragen die Kosten laut Angebot der Fa. InEL⁹⁶ je 310 €, pro Druckstation werden 105 € bei der betrachteten Stückzahl fällig. Die Gesamtkosten pro Maschine belaufen sich somit auf 1880€.

⁹⁶ Vgl. Anhang: Angebot InEL.

3.5.1.2. Entwicklungskosten

Die Entwicklungskosten gliedern sich in folgende Bereiche:

1. Hardwareentwicklung
2. Entwicklung Betriebssystem inkl. Programmierungsumgebung und Treibern
3. Anwendungssoftware

Die Punkte 1 und 2 sind beim standardisierten Steuerungssystem im Angebot enthalten und Teil des Lieferumfangs. Die Kosten werden wie folgt abgeschätzt:

Alternative	Entwicklungskosten [€]			
	Hardware	Betriebs-system	Anwendungs-software	Gesamt
Standardisierte Steuerung mit Basisfunktion	0	0	50.000	50.000
Standardisierte Steuerung mit erweiterter Funktion	0	0	50.000	50.000
Firmenspezifische Hardware mit Basisfunktion	25.000	5.000	90.000	120.000
Firmenspezifische Hardware mit erweiterter Funktion	25.000	15.000	45.000	85.000

Tabelle 5: Entwicklungskosten

Die höheren Kosten für das Betriebssystem bei erweiterter Funktionalität ergeben sich durch die erforderliche Kommunikationsschnittstelle zwischen den einzelnen Baugruppen und das dafür zu entwickelnde Protokoll. Für die Entwicklung der Anwendungssoftware ist bei firmenspezifischer Hardware mit Basisfunktion ein großer Aufwand für die Visualisierung zu erwarten, dies führt zu entsprechenden Kosten. Beim Einsatz der standardisierten Steuerung von B&R stehen Visualisierungstools zur Verfügung, somit entsteht hier gegenüber der erweiterten Funktion kein Mehraufwand.

3.5.1.3. Langfristige Verfügbarkeit/Obsoleszenzmanagement

Sämtliche Bauteile, Baugruppen oder Geräte unterliegen einer Alterung. Unter Alterung versteht man dabei nicht nur den natürlichen Alterungsprozess, sondern auch die technologische Entwicklung und somit eine nur kurze Verfügbarkeit von Produkten und Bauteilen.

Wechselt ein Produkt von der Lieferbarkeit durch den Originalhersteller zur Nicht-Lieferbarkeit, so spricht man von Obsoleszenz⁹⁷. Diese ist bei elektronischen Bauteilen aufgrund der immer kürzer werdenden Innovationszyklen besonders ausgeprägt. Von Maschinenherstellern wird meist eine Ersatzteilversorgung von mindestens zehn Jahren gefordert. Zählt man hierzu die Entwicklungsdauer von etwa einem Jahr und den Serieneinsatz mit geschätzten sieben Jahren hinzu, kommt man auf eine Bauteilverfügbarkeit von 18 Jahren. Speziell bei Prozessoren, Speicherbausteinen oder auch Displays kann dies nicht annähernd erreicht werden, wahrscheinlich ist sogar ein mehrfacher Umstieg bei entsprechenden Produkten notwendig. *„Displays für industrielle Anwendungen werden in der Regel nur über einen Zeitraum von ca. 3 Jahren unverändert angeboten. Derzeit werden pro Monat weltweit ca. 2000 Halbleiterbauteile abgekündigt.“*⁹⁸ Dieser Umstand muss bei den in dieser Arbeit angestellten Überlegungen berücksichtigt und in die Entscheidung einbezogen werden.

Wählt man eine standardisierte Steuerung, so sollte man sich die Verfügbarkeit über den entsprechenden Zeitraum vertraglich zusichern lassen. In diesem Fall wandert die Aufgabe des Obsoleszenzmanagements zum Lieferanten. Ist dies nicht möglich, sollten erst kurz am Markt verfügbare Geräte gewählt werden. Diese werden mit hoher Wahrscheinlichkeit noch länger produziert, Garantie hierfür gibt es jedoch keine. Entscheidet man sich jedoch für eine Eigenentwicklung, so liegt die volle Verantwortung für einen sinnvollen Umgang mit dem Thema Obsoleszenz bei einem selbst. *„Obsoleszenz ist unausweichlich und kann nicht verhindert werden, aber vorausschauende und sorgfältige Planung können ihre Auswirkungen und ihre möglicherweise hohen Kosten minimieren.“*⁹⁹

Dabei ist es sehr schwierig, im Vorhinein den Aufwand und die Kosten abzuschätzen. Die Norm EN 62404:2007 „Anleitung zum Obsoleszenzmanagement“ nennt und beschreibt folgende zwei Hauptstrategien:¹⁰⁰

1. Eine reagierende Strategie
2. Eine vorausschauende Strategie

⁹⁷ Vgl. EN 62404:2007, S. 8.

⁹⁸ Hasler (2010), S. 3.

⁹⁹ EN 62404:2007, S. 5.

¹⁰⁰ Vgl. EN 62404:2007, S. 17 ff.

3.5.1.3.1. Reagierende Strategie

Hier wird erst reagiert, wenn sich die Notwendigkeit dazu ergibt. Für die reagierende Strategie sollte einer der folgenden Punkte erfüllt sein:

- Die Kosten der Planung sind nicht tragbar.
- Produkt hat eine endliche Lebensdauer und es ist keine weitere Beschaffung geplant.
- Die Wahrscheinlichkeit für Obsoleszenz ist sehr gering.
- Das Produkt ist sehr zuverlässig und einfach instand zu setzen.
- Man erhält verlässliche Garantien vom Originalteilhersteller.

Im Fall von Obsoleszenz stehen folgende Optionen zur Verfügung:

- Produktsuche nach alternativen Lieferquellen. Geeignet sind hierfür gleichwertige oder bessere Produkte aber auch austauschbare Alternativprodukte.
- Kannibalisierung. Dabei werden Teile aus anderen Produkten entnommen, dies ist meist nur der letzte Ausweg.
- Instandsetzung. Dieser Punkt ist bei Elektronikbauteilen nur in seltensten Fällen gegeben.
- Entwurfsänderung. Hierbei muss der Entwurf an geänderte Bauteile angepasst werden. Der Aufwand für die Änderung ist abhängig vom Grad der Übereinstimmung des neuen mit dem alten Bauteils.
- Produktersatz. *„Wenn sich sowohl Wiederbeschaffung als auch eine Entwurfsänderung als unwirtschaftlich erweisen, kann der Austausch des gesamten Produkts in Erwägung gezogen werden.“*¹⁰¹

3.5.1.3.2. Vorausschauende Strategie

*„Die Wahl einer vorausschauenden Strategie reduziert die Eintrittswahrscheinlichkeit von Obsoleszenz und/oder mindert die Auswirkung, wenn Obsoleszenz auftritt.“*¹⁰² Bereits in der Entwurfsphase sollten folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Gibt es Anzeichen für zukünftige Beschränkungen durch Verordnungen oder von Nicht-Akzeptanz des Marktes?
- Ist das Bauteil von mehreren Herstellern lieferbar oder kann eine baldige Einstellung des Produkts erwartet werden?
- Sind erhebliche Änderungen bei der Technologie mit Auswirkungen auf das Produkt zu erwarten?

¹⁰¹ EN 62404:2007, S. 20.

¹⁰² EN 62404:2007, S. 18.

- Kann ein bewährter Entwurf wiederverwendet werden? Hierbei müssen die obigen Punkte jedoch positiv bewertet werden können.

In einigen Fällen muss ein System zu vorherbestimmbaren Zeitpunkten auf den neuesten Stand gebracht werden, dabei werden nicht mehr lieferbare Teile ersetzt. Diese geplanten Systemhochrüstungen sollten unter folgenden Bedingungen in Erwägung gezogen werden

- Bei allen neuen elektronischen Systemen.
- Wenn der Zeitpunkt für Obsoleszenz ausreichend genau vorhergesagt werden kann.
- Bei schneller technologischer Entwicklung.
- Wenn eine Endbevorratung ungeeignet ist.

Unter Endbevorratung versteht man die vorzeitige Beschaffung aller Bauteile, die für die festgelegte Zeitspanne benötigt werden und zu einem späteren Zeitpunkt nicht mehr verfügbar sind. Die Nachteile liegen dabei in der schwierigen Abschätzung der benötigten Menge, den hohen Finanzierungskosten sowie der beschränkten Lagerfähigkeit von Produkten. Trotzdem sollte die Endbevorratung in Betracht gezogen werden,

- wenn das Datum für Obsoleszenz bekannt ist,
- bei kurzer Lebenserwartung eines Systems,
- für Ausrüstung, die einen dringenden betriebsbedingten Bedarf erfüllt,
- um Schwierigkeiten bei der Modifikation eines Produkts zu überbrücken bzw. zu vermeiden.

Führt die verfolgte Strategie zu keinem Erfolg, so muss das betroffene Produkt vom Markt genommen werden. Davon betroffene Kunden sind in angemessener Zeit zu informieren, damit diese mit ihren eigenen Obsoleszenzmanagementtätigkeiten beginnen können.

3.5.1.3.3. Obsoleszenz bei Industrieelektronik

Die in der Vergangenheit bei der Unterhaltungselektronik zu beobachtende, immer kürzer werdende Produktlebensdauer wirkt sich mittlerweile auch auf die Industrieelektronik aus. Durch den Einsatz identischer Bauteile, meist aus Kostengründen, werden die Innovationszyklen immer kürzer. Andererseits führen Zulassungen und Genehmigungen bei Maschinensteuerungen zu hohen Entwicklungskosten, welche in einer kurzen Produktlebensdauer nur schwer zu verdienen sind. Aber auch von Anwenderseite wird ein ständiges Wechseln der Technologie oftmals nicht gewünscht, sondern vertraute Technik

geschätzt. „[...]hat sich der Kunde erst einmal an ein bestimmtes User Interface gewöhnt, möchte er in der Regel nur mit Widerstreben ein Neues.“¹⁰³

Das Paradebeispiel für den Einfluss von Verordnungen auf die Produktlebensdauer war die EG-Richtlinie 2002/95/EG (RoHS). Inhalt dieser Richtlinie ist die Verbannung umweltgefährdender Substanzen aus Elektronikkomponenten. Speziell die Umstellung auf bleifreies Lötzinn machte die eingesetzten Produktionsverfahren unbrauchbar, ein Großteil der Bauteile musste an neue Verfahren angepasst werden. Dies wurde für viele ältere Teile nicht gemacht und die Produktion eingestellt oder durch nicht kompatible Nachfolgeprodukte ersetzt. In beiden Fällen musste bestehende Hardware auf die neuen Bauteile angepasst werden.

Mögliche Vorgehensweisen bei Bauteilaufkündigung, wie die Reparatur defekter Bauteile oder die Bauteilnachbildung, scheiden aufgrund fehlendem Know-how oder zu hoher Kosten meist aus. Auch die Endbevorratung von elektronischen Bauteilen ist nur bedingt möglich, verschiedene physikalische Prozesse führen langfristig zu einer Beeinträchtigung der Funktion und zu einer schlechteren Verarbeitbarkeit.¹⁰⁴ Somit bleibt in vielen Fällen nur die Entwurfsänderung als einzige langfristig sinnvolle Möglichkeit bei Obsoleszenz.

3.5.1.3.4. Standardisiertes Steuerungssystem

Eine grundsätzliche Aussage der Fa. B&R zum Thema Obsoleszenz ihrer Produkte findet man im Dokument „Langzeitverfügbarkeit von B&R Produkten“.¹⁰⁵ Für das in dieser Arbeit ausgewählte Steuerungssystem garantiert der Hersteller die Verfügbarkeit des Produkts für die nächsten fünf Jahre, wahrscheinlich sind sogar zehn Jahre. Längerfristig wird die Verfügbarkeit einer kompatiblen Nachfolgetype garantiert, die der jetzigen Ausführung ähnlich sein wird.

Diese Aussage deckt sich auch mit bisher gemachten Erfahrungen mit dem Hersteller. Es kann daher beim standardisierten Steuerungssystem auf eine reagierende Strategie gesetzt werden. Die notwendigen Anpassungen lagen in der Vergangenheit einerseits in der notwendigen Modifikation von Softwaretreibern und andererseits in der Anpassung an geänderte Abmessungen. Beide Punkte können bei entsprechender Vorlaufzeit für die Serienproduktion problemlos eingearbeitet werden, bei bestehenden Maschinen ist ein

¹⁰³ Hasler (2010), S. 3.

¹⁰⁴ Vgl. Hasler (2010), S. 4 ff.

¹⁰⁵ Vgl. Anhang: Langzeitverfügbarkeit von B&R Produkten.

Austausch jedoch oft mit Zusatzkosten, wie z. B. neue Gehäuse, verbunden. Für das Ersatzteilgeschäft sollte daher ein ausreichend dimensioniertes Pufferlager geschaffen oder defekte Geräte repariert werden. B&R liefert hierzu bei einer entsprechenden Rahmenvereinbarung noch max. 5 Jahre über einen Produktabkündigungstermin hinaus und repariert abgekündigte Produkte weitere fünf Jahre.

Der Großteil des Aufwands für das Obsoleszenzmanagement liegt hier beim Lieferanten, der zu erwartende sehr geringe hausinterne Aufwand fällt unter das Tagesgeschäft und ist somit für die Entscheidung irrelevant.

3.5.1.3.5. Firmenspezifische Hardware

Hierbei muss während des gesamten Produktlebenszyklus mit Obsoleszenz gerechnet werden. Bereits während der Konzeptionsphase sind sowohl Risiko als auch die dadurch erwarteten Kosten zu minimieren. Im Falle von Bauteilaufkündigungen kann mittels Endbevorratung genügend zeitlicher Puffer für ein Redesign geschaffen werden. Dadurch sollte eine unveränderte Fertigung der Hardware für ca. sechs Jahre möglich sein, für die erwartete Produktlebenszeit bedeutet dies zwei Entwurfsänderungen. Die Kosten für eine Entwurfsänderung inkl. Einmalkosten für die Platinenfertigung belaufen sich laut externem Entwicklungspartner auf ca. 10000 €. Hinzu kommen geschätzte Lagerhaltungskosten von aufgekündigten Bauteilen während dem Produktlebenszyklus von insgesamt 15000 €. Gesamt betragen die geschätzten Obsoleszenzkosten somit 35000 €.

3.5.1.4. Gesamtkosten pro Maschine

Die Gesamtkosten umgelegt auf eine Maschine ergeben sich aus den Hardwarekosten pro Maschine addiert mit den durch die Anzahl der beschafften Einheiten geteilten Entwicklungs- und Obsoleszenzkosten. Die beschafften Einheiten ergeben sich aus den 200 Stück Maschinen pro Jahr über einen Zeitraum von 7 Jahren, betragen also 1400 Stück. Die zusätzlich zu beschaffenden Ersatzteile werden in dieser Berechnung nicht berücksichtigt, da deren Anzahl erstens nur schwer abschätzbar ist und sie zweitens keinen Einfluss auf den Maschinenpreis hat. Die Ausfallrate ist zu Beginn meist sehr niedrig und nimmt mit zunehmendem Alter der Baugruppen zu, der höchste Bedarf liegt dabei nach Einstellung der Serienproduktion.

Alternative	Kosten pro Maschine [€]			
	Hardware	Entwicklung	Obsoleszenz	Gesamt
Standardisierte Steuerung mit Basisfunktion	3331,50	$50000/1400=35,71$	0	3367,21
Standardisierte Steuerung mit erweiterter Funktion	5380,70	$50000/1400=35,71$	0	5416,41
Firmenspezifische Hardware mit Basisfunktion	1510	$120000/1400=85,71$	$35000/1400=25$	1620,71
Firmenspezifische Hardware mit erweiterter Funktion	1880	$85000/1400=60,71$	$35000/1400=25$	1965,71

Tabelle 6: Gesamtkosten pro Maschine

3.5.2. Funktion

Die Funktion ist nicht messbar und muss daher mittels qualitativer Ergebnisgrößen beschrieben werden.

3.5.2.1. Innovationspotential

Ein hohes Innovationspotential führt zu einer hohen Bewertung.

3.5.2.1.1. Zentrale Ausführung mit Basisfunktionalität

Bedienung und Funktionsmöglichkeiten würden sich nur wenig vom aktuell eingesetzten Steuerungssystem unterscheiden. Das Design kann mittels neuer Folientastatur angepasst, jedoch nicht grundlegend geändert werden. Für den Kunden wäre keine Innovation erkennbar, das gleiche Ergebnis könnte auch durch ein Facelift des aktuellen Steuerungssystems erreicht werden. Das Innovationspotential muss daher sowohl für die standardisierte Steuerung als auch für eine firmenspezifische Hardware mit Mangelhaft bewertet werden.

3.5.2.1.2. Dezentrale Ausführung mit erweiterter Funktionalität

Durch ein Userinterface auf jeder Station ergibt sich eine Vielzahl von neuartigen Anzeige-, Bedien- und Konfigurationsmöglichkeit. Man könnte sich dadurch von allen existierenden Mitbewerbern abheben und den Kunden den technologischen Vorsprung der Maschine visuell vor Augen führen. Durch Programmierung der Station vor Ort werden dem Kunden zusätzlich Wege zur übergeordneten Visualisierung und somit Zeit erspart. Beim Einsatz eines standardisierten Produkts sind Gehäuseform und Abmessungen vorgegeben, das Design kann

nur in gewissen Grenzen variiert werden. Eine firmenspezifische Hardware unterliegt dieser Einschränkung nicht, es sind alle Freiheiten gegeben. Aus diesem Grund erhält das standardisierte Steuerungssystem die Beurteilung Gut, die firmenspezifische Hardware ein Sehr gut.

3.5.2.2. Abhängigkeit

Je geringer die Abhängigkeit desto besser die Bewertung.

3.5.2.2.1. Standardisiertes Steuerungssystem

Wird eine standardisierte Hardware eingesetzt, so kommt es zu einem Abhängigkeitsverhältnis. Der Tausch der Komponenten gegen ein anderes Produkt ist nur im Einzelfall möglich und dann meist mit hohen Kosten verbunden. Gleichzeitig verringert der Bezug des Steuerungssystems von einem namhaften Hersteller die Wahrscheinlichkeit eines Lieferausfalls. Die Rechte an der Maschinensoftware sollten auf jeden Fall im Unternehmen liegen, eine direkte Abhängigkeit ist durch die Verfügbarkeit vieler Programmierer mit Erfahrung auf Steuerungssystemen nicht gegeben. Der Punkt Abhängigkeit wird daher mit Befriedigend bewertet.

3.5.2.2.2. Firmenspezifische Hardware

Entscheidend hierbei sind die Rechte sowohl für Hard- als auch Software. Aus früheren Erfahrungen muss bei der externen Entwicklung auf volle Rechte im Haus bestanden werden. Im Gegenzug kann eine exklusive Liefervereinbarung unter gewissen Voraussetzungen vereinbart werden. Durch die meist kleinere Unternehmensgröße der Entwicklungspartner steigt die Wahrscheinlichkeit eines Lieferausfalls, in diesem Fall kann jedoch mit den vorhandenen Daten ein alternativer Hersteller bzw. Entwickler gesucht werden. Die Abhängigkeit wird aufgrund der genannten Zusammenhänge hier mit Gut bewertet.

3.5.2.3. Stör- und Ausfallsicherheit

Im Idealfall kommt es hier zu keinerlei Ausfällen. Es ist Teil der Firmenphilosophie, möglichst zuverlässige und ausfallsichere Maschinen zu bauen. Der Bereich Ersatzteile und Service ist nicht gewinnorientiert ausgerichtet. Als problematisch erwies sich in der Vergangenheit die Temperaturempfindlichkeit gewisser Baugruppen. In vielen Ländern der Hauptabsatzmärkte kann es in den Produktionshallen zu sehr hohen Temperaturen kommen, Werte über 40°C sind keine Seltenheit. Klimatisierungen sind in der Textilindustrie nicht üblich, selbst die Lüftung mit Frischluft erfolgt oft nur spärlich. Als weiterer kritischer Punkt gilt die Verwendung von Sprühkleber zur Fixierung des Trägermaterials auf den Drucktischen in

Verbindung mit Stofffasern. Dieses klebrige Gemisch haftet an nahezu allen Oberflächen und überzieht diese mit einer filzartigen Schicht. Speziell bei Elektronikkomponenten verhinderte diese Schicht die Wärmeabfuhr und verursacht langfristig Ausfälle. Der Einsatz von Lüftern in der Maschine ist nicht zu empfehlen, da dadurch dieses Phänomen noch verstärkt würde. Geeignete Filteranlagen verstopfen sehr schnell und werden von den meisten Kunden nicht ausreichend gewartet. Die Stabilität der Stromversorgung in den Absatzmärkten ist ein weiteres Problem. Dabei kommt es zu Spannungsschwankungen, Spannungsspitzen, Kurzunterbrechungen, aber auch zu längeren Stromausfällen. Bei der Auswahl bzw. Entwicklung entsprechender Komponenten muss auf diese Umstände Rücksicht genommen werden

3.5.2.3.1. Standardisiertes Steuerungssystem

Die Produkte von Großserienherstellern unterliegen einem ausgereiften Qualitätsmanagement sowie ausführlichen Tests. Dabei erforderliche Prüfgeräte sowie entsprechendes Personal sind bei kleinen Unternehmen meist nicht zu finden. Auch aufgrund von Erfahrungswerten erhält das standardisierte Steuerungssystem die Beurteilung Sehr gut.

3.5.2.3.2. Firmenspezifische Hardware

Bei der Entwicklung der firmenspezifischen Hardware kann gezielt auf die vorher genannten Punkte Rücksicht genommen werden. Jedoch gibt es häufig Einschränkungen sowohl bei Tests während der Entwicklung als auch bei produktionsbegleitenden Qualitätsüberprüfungsmaßnahmen. Hier kann ebenfalls in Verbindung mit Erfahrungswerten das Urteil Gut vergeben werden.

3.5.3. Schutz vor Kopien

Die letzten Jahre zeigten eine starke Zunahme bei Maschinennachbauten. Dieses Phänomen ist nicht auf den asiatischen Markt beschränkt, wird dort jedoch stark und auch offen praktiziert. Auch in europäischen Ländern, speziell der Türkei, sind Kopien am Markt erhältlich. Die Möglichkeiten rechtlich gegen derartige Machenschaften vorzugehen sind begrenzt oder nur mit geringen Erfolgsaussichten versehen. Ziel bei einer Neuentwicklung muss es daher sein, Kopien möglichst zu erschweren. Das völlige Verhindern ist nicht möglich, nur der dazu benötigte Aufwand kann gesteigert werden.

3.5.3.1. Standardisiertes Steuerungssystem

Bei standardisierter Hardware ist es grundsätzlich jedem möglich, entsprechende Geräte zu kaufen. Dies kann oftmals überall auf der Welt erfolgen, die meisten Hersteller besitzen weltweite Vertretungen oder Vertriebspartner. Für die Software besitzen die Steuerungssysteme Schutzmechanismen, welche das Kopieren unterbinden. Dieser Kopierschutz kann nur bei ganz speziellem Know-how umgangen werden, aber auch in diesem Fall erhält man keinen Quellcode. Eine etwaige Softwareänderung oder Anpassung ist somit nicht möglich. Die Möglichkeit eine Software nachzuprogrammieren besteht immer. Der Schutz vor Kopien wird daher mit Ausreichend bewertet.

3.5.3.2. Firmenspezifische Hardware

Für die Software gilt hier dasselbe wie bei standardisierten Steuerungen. Der Nachbau der Hardware stellt jedoch eine weitere Hürde zu einer erfolgreichen Kopie dar. Diese zu nehmen ist mit hohem Aufwand und Kosten verbunden. Bei den aktuell eingesetzten Multilayer-Platinen ist es deutlich schwerer, alle ausgeführten Kontaktierungen zu ermitteln und diese zu rekonstruieren. Dies ist jedoch notwendig, um wiederum den Schaltplan zu generieren. Für derartige Problemstellungen finden sich auf Reverse-Engineering spezialisierte Betriebe. Auch hier gilt, ein hundertprozentiger Schutz ist nicht möglich, trotzdem kann dieser als Gut bezeichnet werden.

3.5.4. Die Ergebnismatrix

Zur übersichtlichen Darstellung aller Ergebniserwartungen werden alle untersuchten Alternativen mit deren Ergebnissen in einer Ergebnismatrix dargestellt.

Alternative	Kosten pro MA	Innovation	Abhängigkeit	Ausfallsicherheit	Kopierschutz
Standardisierte Steuerung mit Basisfunktion	3367,21	Mangelhaft (+)	Befriedigend	Sehr gut (-)	Ausreichend (+)
Standardisierte Steuerung mit erweiterter Funktion	5416,41	Gut (-)	Befriedigend	Sehr gut (-)	Ausreichend (+)
Firmenspezifische Hardware mit Basisfunktion	1620,71	Mangelhaft (+)	Gut (+)	Gut (-)	Gut (+)
Firmenspezifische Hardware mit erweiterter Funktion	1965,71	Sehr gut (+)	Gut (+)	Gut (-)	Gut (+)

Tabelle 7: Ergebnismatrix

3.6. Ermittlung der Zielerreichungsgrade

Die in der Ergebnismatrix gemischt dargestellten qualitativen und quantitativen Werte müssen in eine einheitliche Skala umgewandelt werden. Diese kardinale Skala wird mit null bis zehn definiert, wobei zehn der besten Zielerreichung entspricht.

3.6.1. Kosten

Bei der Berechnung des Zielerreichungsgrades für die Kosten würde die Anwendung des in Kapitel 2.5.3.3 beschriebenen Berechnungsverfahrens mit dem praxisbewährten Faktor zwei beiden standardisierten Steuerungsvarianten ein Ergebnis von null bescheren. Da die Kosten zu 50 % in die Entscheidung eingehen, wären damit beide Alternativen auszuschneiden. Die Steuerungskosten betragen jedoch nur einen Bruchteil der gesamten Maschinenkosten. Für diese Arbeit werden die Kosten nach Rücksprache mit allen Betroffenen wie folgt skaliert:

- Die günstigste Alternative erhält die Punktzahl 10, die minimalen Kosten liegen bei 1620,71 €.
- Als maximal zulässige Kosten werden 20 % der gesamten Maschinenkosten angesehen. Die Maschinenkosten einer derartigen Konfiguration betragen etwa 35000 €. Das maximal zulässige Ergebnis somit 7000 €.

Zur Berechnung der Zielerreichungsgrade bei den Kosten kommt die Formel aus Kapitel 2.5.3.2 zum Einsatz:

$$\text{Zielerreichungsgrad} = \left(1 - \frac{\text{Ergebnis} - \text{min. Ergebnis}}{\text{max. Ergebnis} - \text{min. Ergebnis}}\right) * 10$$

3.6.2. Funktion und Schutz vor Kopien

Die Transformation der qualitativen Ergebniserwartungen erfolgt mittels der im Kapitel 2.5.3.1 dargestellten gebräuchlichen Zuordnungstabelle.

3.6.3. Die Entscheidungsmatrix

Die ermittelten Zielerreichungsgrade sind in der folgenden Entscheidungsmatrix dargestellt.

Alternative	Kosten pro MA (50 %)	Innovation (20 %)	Abhängigkeit (10 %)	Ausfall- sicherheit (5 %)	Kopierschutz (15 %)
Standardisierte Steuerung mit Basisfunktion	6,8	1	5	9	3
Standardisierte Steuerung mit erweiterter Funktion	2,9	7	5	9	3
Firmenspezifische Hardware mit Basisfunktion	10	1	8	7	8
Firmenspezifische Hardware mit erweiterter Funktion	9,4	10	8	7	8

Tabelle 8: Entscheidungsmatrix

3.7. Die Entscheidungsfindung

Zur Entscheidungsfindung muss die Präferenzordnung über die Alternativen bestimmt werden.

3.7.1. Die Präferenzordnung

Durch Multiplikation der Zielerreichungsgrade mit den jeweiligen Gewichtungsfaktoren erhält man die Teilnutzen. Diese werden anschließend zum Gesamtnutzen der Alternative summiert.

Alternative	Teilnutzen					Gesamt- nutzen
	Kosten	Innovation	Abhängig- keit	Ausfall- sicherheit	Kopier- schutz	
Standardisierte Steuerung mit Basisfunktion	3,4	0,2	0,5	0,5	0,5	5,0
Standardisierte Steuerung mit erweiterter Funktion	1,5	1,4	0,5	0,5	0,5	4,3
Firmenspezifische Hardware mit Basisfunktion	5,0	0,2	0,8	0,4	1,2	7,5
Firmenspezifische Hardware mit erweiterter Funktion	4,7	2,0	0,8	0,4	1,2	9,1

Tabelle 9: Gesamtnutzen der Alternativen

3.7.2. Plausibilitätskontrolle

Aufgrund des großen Abstands und da auch eine Variation der Kriterien keine Verschiebung des Ergebnisses zur Folge hätte, kann die Lösung als sehr stabil bezeichnet werden. Den größten Einfluss auf die getroffene Entscheidung haben trotz relativ niedriger Gewichtung mit 50 % die Kosten. Hier ist auch der Hauptnachteil der standardisierten Steuerung zu finden. Würden die Kosten noch höher gewichtet, so würde die Entscheidung noch deutlicher ausfallen. Die firmenspezifische Hardware kann die höheren Kosten bei erweiterter Funktionalität gegenüber der Basisfunktion durch einen deutlichen Mehrwert bei den anderen Kriterien mehr als kompensieren, dies gelingt der standardisierten Steuerung nicht.

Durch den Einsatz anderer Entscheidungsverfahren, wie z. B. der Nutzwertanalyse der 2. Generation¹⁰⁶, ist kein substantiell besseres Ergebnis zu erwarten. Dazu ist das Ergebnis einerseits zu eindeutig, andererseits sind die Annahmen mit großer Unsicherheit verbunden. Diese Unsicherheiten gelten unabhängig vom gewählten Entscheidungsverfahren.

3.7.3. Alternativenbestimmung

Als Sieger geht relativ deutlich die firmenspezifische Hardware mit erweiterter Funktion hervor. Betrachtet man die Teilnutzen separat, so sind die Ergebnisse für die direkt davon betroffenen Unternehmensteile bzw. Personen durchwegs zufriedenstellend. Sind für die Geschäftsführung die Kosten sowie die Abhängigkeit gegenüber Lieferanten besonders relevant, sieht der Verkauf die Innovationskraft sowie den Schutz vor Kopien als besonders wichtig an. Aus Sicht des Technikers wird die technologisch beste Lösung präferiert. In allen Punkten erzielt die firmenspezifische Hardware mit erweiterter Funktion beste oder zumindest sehr gute Ergebnisse. Durch den Einsatz der Nutzwertanalyse der 1. Generation konnte sowohl das Verfahren als auch das Ergebnis allen beteiligten Personen transparent dargelegt und somit eine einstimmige Entscheidung erzielt werden. Der Einsatz ähnlicher Verfahren zur Entscheidungsfindung in anderen Bereichen wird seitens der Geschäftsführung für die Zukunft begrüßt.

¹⁰⁶ Vgl. Bechmann (1978), S. 52 ff.

4. Fazit

Die Eindeutigkeit der hier getroffenen Entscheidung für eine firmenspezifische Hardware mit erweiterter Funktionalität wurde zu Beginn der Arbeit nicht erwartet. Tatsächlich liefert sie in den meisten Bewertungskriterien den höchsten Zielerfüllungsgrad oder liegt zumindest nur geringfügig hinter dem Bestwert. Mit dem hier erzielten Ergebnis können sich alle in die Entscheidung eingebunden Personen identifizieren. Für die Geschäftsführung ist das gute Ergebnis hinsichtlich der Kosten besonders wichtig, auch die geringe Abhängigkeit gegenüber Lieferanten wird sehr positiv gesehen. Der Verkauf erhofft sich positive Impulse durch die neue, innovative Technik, welche ein deutliches Unterscheidungsmerkmal zur Konkurrenz darstellt. Durch den hohen Aufwand für das Kopieren bzw. Nachbauen wird eine lange Wirkung dieses Punktes erwartet. Seitens der Technik bedeutet die getroffene Entscheidung den Einsatz der besten, aber auch anspruchsvollsten Technologie. Der Betreuungsaufwand während der Entwicklung, aber auch während des gesamten Produktlebenszyklus, ist hier höher als bei den anderen Alternativen. Dieser Punkt muss allen beteiligten Personen klar sein und wurde deshalb deutlich kommuniziert. Aus Sicht des Technikers wird mit der Auswahl der technologisch besten Lösung die gewünschte Alternative gewählt.

Das deutliche Ergebnis des in dieser Arbeit untersuchten Sachverhalts darf jedoch nicht dazu verleiten, eine eindeutige Tendenz für Eigenentwicklungen in der Elektronik zu sehen. Die hier vorliegenden Vorgaben, wie Produktion einer immer gleichbleibenden Serienmaschine in ausreichender Stückzahl, sind Grundvoraussetzungen für das hier erzielte Ergebnis. Werden in Zukunft unterschiedlichere, individuell an die Bedürfnisse des Kunden angepasste Maschinen gefordert oder kommt es zu einem signifikanten Absinken der abgesetzten Stückzahlen, so kann der Einsatz einer standardisierten Steuerung Vorteile bieten.

Als großer Unsicherheitsfaktor ist der relativ lange Betrachtungszeitraum zu nennen. Ist allein die Zeitspanne für die Serienfertigung mit acht Jahren großen Unsicherheiten unterworfen, lässt sich der Zeitraum bis Ende der Ersatzteilversorgung mit 18 Jahren eigentlich nicht mehr prognostizieren. Dabei sind nicht nur Veränderungen auf ökonomischer und politischer Seite relevant. Speziell die rasante Entwicklung der Elektronikindustrie führt zu unvorhersehbaren Veränderungen. Krisen in der Vergangenheit führten zu starken Schwankungen der Rohstoffpreise mit entsprechenden Auswirkungen auf Elektronikkomponenten. Neben dem finanziellen Aspekt waren die Lieferzeiten ein großes Problem, welches nur mit großem zeitlichem und finanziellem Aufwand gelöst werden

konnte. Der wahrscheinlich immer kürzer werdende Produktlebenszyklus von Elektronikkomponenten führt zu schwer prognostizierbaren Kostensteigerungen für das Obsoleszenzmanagement. Technologisch scheint eine Veränderung bei den Eingabe- und Anzeigegeräten in den nächsten Jahren möglich. Setzt man derzeit meist noch auf fest montierte Einheiten, können transportable Geräte in einigen Anwendungsfällen Vorteile bieten. Durch die kombinierte Anwendung verschiedener Konzepte ergeben sich neue Arbeitsweisen, neben dem fest installierten Bedienterminal könnte zum Beispiel mittels Smartphone der Maschinenbediener Einstellungen direkt vor Ort vornehmen, welche drahtlos an die Maschinensteuerung weitergeleitet werden.

Abschließend soll noch auf das für diese Arbeit gewählte Verfahren eingegangen werden. Für den hier untersuchten Sachverhalt erschien die Nutzwertanalyse der 1. Generation aus folgenden Gründen als die beste Variante:

- Die gleichzeitige Verarbeitung von qualitativen und quantitativen Kriterien ist möglich.
- Die untersuchten Kriterien sind gut voneinander isolierbar, die Nutzenunabhängigkeit ist somit gegeben.
- Durch die Einfachheit in der Handhabung war es möglich, betroffene Personen ohne umfangreiche Kenntnisse der Entscheidungstheorie in den Prozess miteinzubeziehen.
- Für die Entscheidungsträger, welche über nur geringe Erfahrungen mit Entscheidungsverfahren verfügen, sollte ein möglichst transparentes Verfahren gewählt werden.

Durch den Einsatz der von Bechmann¹⁰⁷ entwickelten Nutzwertanalyse der 2. Generation wäre es meiner Meinung nach zu keinem substanziell besseren Ergebnis gekommen. Einerseits ist das Ergebnis zu eindeutig, andererseits sind viele Annahmen mit großer Unsicherheit verbunden, welche unabhängig vom gewählten Verfahren existiert. Bei mangelnder Akzeptanz oder durch Überforderung der beteiligten Personen war eine Ablehnung des gesamten Entscheidungsprozesses zu befürchten, eine Entscheidungsfindung ohne entsprechendes Verfahren hätte aber auf jeden Fall einen Rückschritt bedeutet.

¹⁰⁷ Vgl. Bechmann (1978), S. 52 ff.

Langzeitverfügbarkeit von B&R Produkten

Perfection in Automation
www.br-automation.com



Langzeitverfügbarkeit von B&R Produkten

Als Partner vieler Maschinenbauunternehmen und Anwendern von Automatisierungsprodukten ist sich B&R der großen Bedeutung einer langjährigen Produktverfügbarkeit für unsere Kunden bewusst. Dies spiegelt sich auch in der Produktpolitik von B&R wieder.

Durch die gewissenhafte Analyse und Auswahl aller verwendeten Komponenten wird bei allen im Hause B&R produzierten Serienprodukten erreicht, dass sich diese Produkte neben ihrem hohen technischen und qualitativen Standard auch durch Zuverlässigkeit und eine lange Verfügbarkeit auszeichnen.

Aus diesem Grund kann B&R für Serienprodukte, deren Produktlebenszyklus typischerweise mehr als 10 Jahren andauert, folgende Verfügbarkeit bieten.

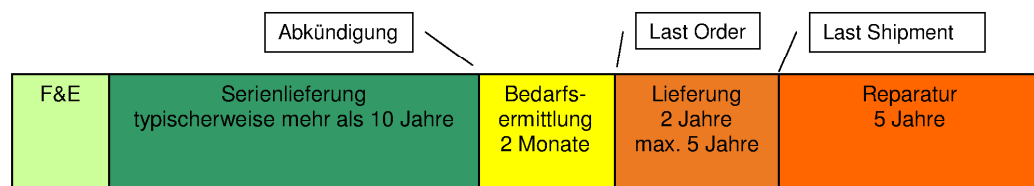
1. Verfügbarkeit nach dem Produktlebenszyklus

Im Falle einer Produktabkündigung besteht die Möglichkeit die weitere Serienbelieferung individuell zu vereinbaren. Ein Produkt gilt als abgekündigt, wenn es nicht mehr im aktuellen Produktkatalog enthalten ist oder Ihnen die Abkündigung schriftlich zugestellt wurde.

Als Standardverfügbarkeit, sofern die technischen Rahmenbedingungen es zulassen, gilt :

- Bis 2 Monate nach der Abkündigung kann der Bedarf (Last Order) definiert werden.
- Die Lieferung von Neuteilen erfolgt innerhalb von 2 Jahren nach Abkündigung auf Basis eines verbindlichen Rahmenauftrages. Auf Kundenwunsch kann, im Rahmen einer gegenseitigen Vereinbarung und Beteiligung an Lagerkosten, der Zeitraum auf insgesamt 5 Jahre ausgedehnt werden.
- B&R bietet die Reparatur von abgekündigten Produkten für weitere fünf Jahre.

Das bedeutet, dass B&R seine Produkte, nachdem sie aus dem Produktprogramm genommen wurden, noch für weitere 10 Jahre wie beschrieben betreut.



2. Liefereinschränkung aus juristischen Gründen

Ist es B&R auf Grund von zB anhängigen Gerichtsverfahren seitens unserer Lieferanten untersagt, bestimmte Produkte oder Komponenten auszuliefern, gelten oben genannte Verfügbarkeiten nicht.

B&R möchte Ihnen als ein dauerhafter und zuverlässiger Partner für Ihre Automatisierungslösungen zur Seite zu stehen.

Ihr B&R Automation Team



1 PREISÜBERSICHT

Angebot gemäß Anfrage vom 17.5.2011

Zentrales System :

Pos.	Anzahl	Beschreibung	Einzelpreis	Gesamtpreis
2.1	1 Stk.	PC mit Steuerung siehe Pos. 3	1.036,10 EUR	1.036,10 EUR
2.2	1 Stk.	Touch-Display 15" siehe Pos. 4	885,30 EUR	885,30 EUR
2.3	1 Stk.	Zentrale I/O Hardware System X20 siehe Pos. 5	1.140,10 EUR	1.140,10 EUR
Summe Pos. 2 :				3.331,50 EUR

Dezentrales System :

2.4	1 Stk.	Hardware Variante 2 : zentrale Steuerung siehe Pos. 6	700,70 EUR	700,70 EUR
2.5	1 Stk.	Hardware Druckstation siehe Pos. 7	390,00 EUR	390,00 EUR
Summe Pos. 2 :				1.090,70 EUR

Oben angeführte Preise sind Nettopreise und basieren auf einem gültigen Jahresrahmenvertrag über mindesten 200 Systeme im Jahr.

AT12-2011-138

Seite 2/9

Bernecker + Rainer - Industrie-Elektronik Ges.m.b.H. - B&R Straße 1 - A-5142 EGGELSBERG
Tel. +43(0)7748/6586-0 Fax +43(0)7748/6586-26 - E-Mail: br-hq@br-automation.com - Internet: www.br-automation.com
Wir schließen Rechtsgeschäfte ausschließlich auf Grund unserer Geschäftsbedingungen in der Fassung vom 1.7.2003 ab.
Firmenbuchgericht: LG Ried im Innkreis - Firmenbuchnummer: FN 111651v - DVR-Nr.: 0721301 - UID: ATU62367156
Bankverbindung: Erste Bank (BLZ 20111) - Kto-Nr.: 40313237100 - IBAN: AT822011140313237100 - BIC: GIBAATWW



Elektronik und Software Entwicklung, Projektleitung, Fertigungsbegleitung

Löcker Jury - Untere Sparchen 16 - 6330 Kufstein

Horst Hautz
Kirchplatz 19
6352 Ellmau

Untere Sparchen 16
A-6330 Kufstein
0043 (0)5372 20504 01
0043 (0)664 2018404
0043 (0)5372 20504 10

Angebot

Angebot-Nr.
2011090801

Datum
08.09.2011

Sachbearbeiter/-in:
Jury Löcker

Sehr geehrte Damen und Herren,

wir freuen uns, Ihnen folgendes Richtangebot unterbreiten zu dürfen:

Einmalkosten:

- Pos. 1-2 Entwicklung Steuerungshardware
- Pos. 3-4 Programmierung des Betriebssystems
- Pos. 5-7 Programmierung der Steuerungssoftware

Ergänzende Beschreibung:

- Betriebssystem: Die höheren Kosten für die dezentrale Steuerungshardware ergeben sich aus der erforderlichen zu programmierenden Kommunikationsschnittstelle mit Protokoll.
- Steuerungssoftware: Die bei der zentralen Steuerungshardware erforderliche Visualisierung ist mit einem hohen Aufwand und somit Kosten verbunden, bei dezentraler Steuerungshardware fallen diese nicht an.

Stückkosten auf Basis 200 Maschinen pro Jahr:

- Pos. 8-9 Zentrale Steuerungshardware mit Basisfunktionalität.
- Pos. 10-12 Dezentrale Steuerungshardware mit erweiterter Funktionalität.

Ergänzende Beschreibung:

- Industrie-PC: Display mit Touchfunktion und Recheneinheit sind in einem Gehäuse verbaut.
- I/O-Platine: Die Platine erlaubt den Anschluss von bis zu 12 Druckstationen. Für mehr Stationen ist der gleichzeitige Einsatz mehrerer I/O-Platinen möglich.
- Terminals: Die Eingabe erfolgt über Folientastaturen (nicht Teil des Angebots) sowie je zwei Inkrementaldrehgebern mit Drückfunktion.

Pos.	Anzahl	Einheit	Artikelnr.	Bezeichnung	Einzelpreis	Gesamtpreis
1	1	Stk.		Entwicklung einer Steuerungshardware in zentraler Ausführung mit Basisfunktionalität.	25.000,00€	25.000,00€
2	1	Stk.		Entwicklung einer Steuerungshardware in dezentraler Ausführung und erweiterter Funktionalität.	25.000,00€	25.000,00€
3	1	Stk.		Programmierung eines Betriebssystems für eine zentrale Steuerungshardware mit Basisfunktionalität.	5.000,00€	5.000,00€

Steuernummer: 134/7232
Ust.-ID: ATU64537638
Firmenbuch Nr.: FN 318467 i
Gerichtsstand: Ort des Beklagten.

Garantieerfüllungsort: Kufstein
Ware bleibt bis zur vollständigen Bezahlung unser Eigentum
Bankverbindung: Konto Nr. 23325, BLZ: 36269
IBAN: AT183626900000023325 BIC: RZTIAT22269

Angebot-Nr. 2011090801

Seite 2 von 2

Pos.	Anzahl	Einheit	Artikelnr.	Bezeichnung	Einzelpreis	Gesamtpreis
4	1	Stk.		Programmierung eines Betriebssystems für eine dezentrale Steuerungshardware mit erweiterter Funktionalität.	15.000,00 €	15.000,00 €
5	1	Stk.		Programmierung der Steuerungssoftware für eine zentrale Steuerungshardware mit Basisfunktionalität.	90.000,00 €	90.000,00 €
6	1	Stk.		Programmierung der Steuerungssoftware für eine dezentrale Steuerungshardware mit erweiterter Funktionalität.	45.000,00 €	45.000,00 €
7	1	Stk.		Richtpreis für Redesign einer bestehenden Hardware aufgrund EOL (End of life) der CPU inkl. Einmalkosten für Platinen sowie aller erforderlichen Tests.	10.000,00 €	10.000,00 €
8	200	Stk.		Industrie-PC mit Intel-Atom N270 1,6 GHz und 15" resistiven Touchscreen.	1.050,00 €	210.000,00 €
9	200	Stk.		I/O-Platine für den Anschluss von bis zu 12 Druckstationen.	460,00 €	92.000,00 €
10	200	Stk.		Hauptbedienterminal mit großem monochromen Display.	310,00 €	62.000,00 €
11	200	Stk.		Hauptantriebsterminal mit integrierter Systemuhr zur Laufzeitbeschränkung und allen für den Hauptantrieb benötigten Aus- und Eingängen.	310,00 €	62.000,00 €
12	2000	Stk.		Stationsterminal mit allen für die Druckstation benötigten Aus- und Eingängen.	105,00 €	210.000,00 €
Summe						851.000,00 €
Mehrwertsteuer 20%						170.200,00 €
Zu zahlender Betrag						1.021.200,00 €

Die Lieferung erfolgt unverpackt ab Werk.

Wir hoffen, dass unser Angebot Ihnen zusagt und verbleiben

mit freundlichen Grüßen

Jury Löcker

Literaturverzeichnis

Fachbücher:

- Albers (1982)
Albers, Willi (Hrsg.): Handwörterbuch der Wirtschaftswissenschaft (HdWW) – Band 9 – Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht, 1982 – 962 S.
- Bamberg/Coenenberg/Krapp (2008)
Bamberg, Günther / Coenenberg, Adolf G. / Krapp, Michael: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre – 14., überarbeitete Auflage – München: Franz Vahlen, 2008 – 317 S.
- Bechmann (1978)
Bechmann, Arnim: Nutzwertanalyse, Bewertungstheorie und Planung – 1. Aufl. – Bern: Haupt, 1978 – 361 S.
- Biasio (1969)
Biasio, Silvio: Entscheidung als Prozess – Methoden der Strukturanalyse von Entscheidungsverläufen – Ein Beitrag zur Psychologie der betrieblichen Entscheidung – Bern: Hans Huber, 1969 – 138 S.
- Dittmer (2002)
Dittmer, Gonde: Rationales Management – Komplexität methodisch meistern – 1. Auflage – Berlin: Springer, 2001 – 258 S.
- Eisenführ/Weber (2003)
Eisenführ, Franz / Weber, Martin: Rationales Entscheiden – 4., neu bearbeitete Auflage – Berlin: Springer, 2003 – 415 S.
- Gäfigen (1974)
Gäfigen, Gérard: Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung – Untersuchungen zur Logik und Bedeutung des rationalen Handelns – 3., erweiterte und ergänzte Auflage – Tübingen: J.C.B. Mohr, 1974 – 536 S.
- Geyer (2007)
Geyer, Helmut: Praxiswissen BWL – Crash-Kurs für Führungskräfte und Quereinsteiger – 1. Auflage – München: Haufe, 2007 – 623 S.
- Grünig/Kühn (2009)
Grünig, Rudolf / Kühn Richard: Entscheidungsverfahren für komplexe Probleme – Ein heuristischer Ansatz – 4., überarbeitete Auflage – Berlin: Springer, 2009 – 278 S.
- Hartschen/Scherer/Brügger (2009)
Hartschen, Michael / Scherer, Jiri / Brügger, Chris: Innovationsmanagement – Die 6 Phasen von der Idee zur Umsetzung – 1. Auflage – Offenbach: Gabal, 2009 – 160 S.
- Hoffmeister (2000)
Hoffmeister, Wolfgang: Investitionsrechnung und Nutzwertanalyse – Eine entscheidungsorientierte Darstellung mit vielen Beispielen und Übungen – Stuttgart: Kohlhammer, 2000 – 336 S.
- Kahle (2001)
Kahle, Egbert: Betriebliche Entscheidungen – Lehrbuch zur Einführung in die betriebswirtschaftliche Entscheidungstheorie – 6., unwes. veränd. Aufl. – München: Oldenbourg, 2001 – 271 S.
- Keeney (1992)
Keeney, Ralph L.: Value-focused thinking – A path to creative decisionmaking – Harvard University Press, 1992 – 432 S.
- Laux (2005)
Laux, Helmut: Entscheidungstheorie – 6., durchgesehene Auflage – Berlin: Springer, 2005 – 484 S.

- Levi (2010)
Levi, Daniel: Group dynamics for teams – 3rd edition – Thousand Oaks/California: Sage, 2010 – 366 S.
- Lillich (1992)
Lillich, Lothar: Nutzwertverfahren – 1. Auflage – Heidelberg: Physica, 1992 – 196 S.
- Saliger (2003)
Saliger, Edgar: Betriebswirtschaftliche Entscheidungstheorie – Einführung in die Logik individueller und kollektiver Entscheidungen – 5., durchgesehene Auflage – München: Oldenbourg, 2003 – 214 S.
- Stelling (2009)
Stelling, Johannes N.: Kostenmanagement und Controlling – 3., unveränderte Auflage – München: Oldenbourg, 2009 – 340 S.
- Thommen (2007)
Thommen, Jean-Paul: Betriebswirtschaftslehre – 7., überarbeitete Auflage – Zürich: Versus, 2007 – 1312 S.
- Wiese (2002)
Wiese, Harald: Entscheidungs- und Spieltheorie – Berlin: Springer, 2002 – 423 S.
- Zangemeister (1976)
Zangemeister, Christof: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik – Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen – 4. Auflage – München: Wittemannsche Buchhandlung, 1976 – 370 S.

Fachartikel:

- Bitz (1998)
Bitz, Michael: Bernoulli-Prinzip und Risikoeinstellung – In: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung – Düsseldorf: Verlagsgruppe Handelsblatt, 1998/Heft 10 – S. 916-932.
- Stähler (2002)
Stähler, Dirk: Geschäftsprozesse optimieren/Nutzwertanalyse hilft Prozesse einzuschätzen – In: Computerwoche – München: IDG Business Media, 2002 Heft Nr. 33 – S.38.
- Dincher (2007)
Dincher, Roland: Einführung in die Nutzwertanalyse – Hochschule der Bundesagentur für Arbeit – Studienfeld 1: Public Management – Mannheim: 2007 – 6 S.
- Dinkelbach (2007)
Dinkelbach, Werner: Nutzwertanalyse – Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre / Handwörterbuch Unternehmensrechnung und Controlling – Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2007 – 6 S.
- Dyckhoff/Ahn (1998)
Dyckhoff, Harald / Ahn, Heinz: Integrierte Alternativengenerierung und -bewertung – In: Die Betriebswirtschaft - Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 58. Jg 1998/Heft 1 – S. 49-63.
- Gruschka/Schnitzenbaumer (2008)
Gruschka, Herbert / Schnitzenbaumer, Franz: Methoden zu Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen bei Investitionsmaßnahmen und Angeboten – Bayerischer Kommunalen Prüfungsverband – Geschäftsbericht 2008 – S. 65-123.
- Hasler (2010)
Hasler, Ralf: White Paper – End-of-Life Management von elektronischen Baugruppen – Lacon Electronic GmbH, 2010 – 13 S..
- Lindstädt (1998)
Lindstädt, Hagen: Qualität von Gruppenentscheidungen – In: OR Spektrum - Berlin: Springer, 1998/Band 20 – S. 165-177.

- Strukturfonds-ERDF, Kohäsionsfonds und ISPA (2003)
Strukturfonds-ERDF, Kohäsionsfonds und ISPA: Anleitung zur Kosten-Nutzen-Analyse von Investitionsprojekten, 2003 – 157 S.

Studienarbeiten:

- Demuth/Hammer (2008)
Demuth, Marcel / Hammer, Sebastian: Die Nutzwertanalyse und ihre Weiterentwicklung / Die Kosten-Nutzen-Analyse – 1. Auflage – München: Grin, 2008 – 29 S.
- Weber (2005)
Weber, Jochen: Die Nutzwertanalyse zur Beurteilung von Entscheidungsalternativen im öffentlichen Sektor – 1. Auflage – München: Grin, 2005 – 25 S.

Internetquellen:

- Koch (2001): Mannmonat
Koch, Stefan: Produktivität in der Software-Entwicklung – Spezialfall Open Source: Software-Metriken: Unterpunkt „Mannmonat“ – Wirtschaftsuniversität Wien – Abteilung für Informationswirtschaft, 2001.
Verfügbar am 9.10.2011. Adresse des Dokuments:
<http://www.ai.wu.ac.at/~koch/courses/wuw/archive/oss-ws-02/metriken/node7.html>
- Manalex: Entscheidung
Manalex: Das große Management Lexikon: Suchbegriff „Entscheidung“.
Verfügbar am 29.9.2011. Adresse des Dokuments:
<http://www.manalex.de/d/entscheidung/entscheidung.php>
- Gabler: Mehrstufige Entscheidungen
Gabler Wirtschaftslexikon: Suchbegriff „Mehrstufige Entscheidungen“.
Verfügbar am 9.11.2011. Adresse des Dokuments:
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/mehrstufige-entscheidungen.html>
- Wirtschaftslexikon24: Homo oeconomicus
Wirtschaftslexikon 24: Suchbegriff „homo oeconomicus“.
Verfügbar am 27.10.2011. Adresse des Dokuments:
<http://www.wirtschaftslexikon24.net/d/homo-oeconomicus/homo-oeconomicus.htm>
- Wirtschaftslexikon24: Rationalprinzip
Wirtschaftslexikon 24: Suchbegriff „Rationalprinzip“.
Verfügbar am 27.10.2011. Adresse des Dokuments:
<http://www.wirtschaftslexikon24.net/d/rationalprinzip/rationalprinzip.htm>

Normen:

- EN 62402:2007
DIN EN 62402:2008-01: Anleitung zum Obsoleszenzmanagement (IEC 62402:2007);
Deutsche Fassung EN 62402:2007

Eigenhändigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Ellmau, Dezember 2011

Horst Hautz