

Martin RATH

Konstruktion einer vollautomatischen Verpackungsmaschine für Forstnerbohrer

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

in der Studienrichtung Maschinenbau

vorgelegt der Fakultät für Maschinenbau und
Wirtschaftswissenschaften der Technischen Universität Graz

Beurteilerin: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Katrin Ellermann

Betreuer: Dipl.-Ing. Mathias Mair

Institut für Mechanik
Technische Universität Graz

Graz, 2011

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 10. Jänner 2012

.....

(Unterschrift)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich bei der Erstellung meiner Diplomarbeit unterstützt haben. Besonders bedanken möchte ich mich bei meinen Eltern für die Unterstützung während des Studiums. Mein Dank gilt weiters der Firma Johann Eberhard GmbH und im Speziellen dem technischen Geschäftsführer Herrn Ing. Andreas Eberhard für die Möglichkeit diese Konstruktionsaufgabe praxisorientiert umzusetzen. Nicht zuletzt gilt mein Dank dem Betreuer meiner Diplomarbeit Herrn Dipl.-Ing. Mathias Mair und dem Institut für Mechanik unter der Leitung von Frau Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Katrin Ellermann für die kompetente und unkomplizierte Betreuung.

Graz, im Dezember 2011

Martin Rath

Abstract

The subject of this diploma thesis is the development of a packing machine for center bits produced by Johann Eberhard GmbH in 8503 St. Josef. Besides the center bit itself, a product information sheet and a AM-label are part of the package.

Using a variety of methods for solution finding, different concepts for the units of the packing machine were developed. After the evaluation according to guideline VDI-2225 the best concept is selected. For this concept the estimated costs are determined. Afterwards design patterns are worked out. A presentation of the design of the packing machine forms the end of this paper.

Kurzfassung

Die Firma Johann Eberhard GmbH mit Sitz in 8503 St. Josef ist ein Produzent von Forstnerbohrern für die eine Verpackungsmaschine entwickelt wird. Zur fertigen Blisterverpackung gehören neben einem Forstnerbohrer ein Einlegeblatt, ein AM-Etikett sowie ein verschweißbarer Blister.

Mit Hilfe verschiedener Methoden der Lösungsfindung werden Konstruktionsvarianten einzelner Baugruppen der Verpackungsmaschine erarbeitet. Nach einem Bewertungsverfahren in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2225 wird das aussichtsreichste Gesamtkonzept ausgewählt. Für den aus dem Gesamtkonzept entwickelten Entwurf der Maschine wird eine Kostenabschätzung durchgeführt. Im Anschluss werden allgemeine Konstruktionsrichtlinien für die weitere Detaillierung eingeführt. Abschließend wird die Detailkonstruktion der Verpackungsmaschine vorgestellt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	8
1.1	Aufgabenstellung	8
1.2	Bestehende Verpackungsmaschine	10
1.3	Aufbau der Arbeit	11
2	Grundlagen des methodischen Konstruierens	13
2.1	Allgemeine Methoden zur Unterstützung der Lösungssuche	13
2.2	Produktplanung	15
2.3	Phasen im Konstruktionsprozess	16
2.4	Methoden zur Lösungssuche	20
2.4.1	Konventionelle Methoden	20
2.4.2	Intuitive Methoden	21
2.4.3	Theorie des erfinderischen Problemlösens TRIZ	24
2.4.4	Diskursive Methoden	25
2.4.5	Lösungskombination	27
2.5	Bewertungsmethoden	29
2.5.1	Auswählen der zu bewertenden Lösungsvarianten	29
2.5.2	Grundlagen von Bewertungsmethoden	30
2.5.3	Argumentenbilanz	32
2.5.4	Bewertung nach VDI-Richtlinie 2225	32
2.5.5	Bewerten mittels Nutzwertanalyse	35
3	Konzeptentwicklung	37
3.1	Klärung der Aufgabenstellung	37
3.2	Ablauf der Verpackungsschritte und Aufteilung in Teilfunktionen	39
3.3	Lösungsfindung und Bewertung der Lösungsmöglichkeiten	39
3.3.1	Verwendetes Bewertungsschema	41
3.3.2	Funktionseinheit Palette	41
3.3.3	Funktionseinheit Forstnerbohrer	43
3.3.4	Funktionseinheit Blister	45
3.3.5	Funktionseinheit Euroaufhänger	46
3.3.6	Funktionseinheit Einlegeblatt	47
3.3.7	Funktionseinheit AM-Etikett	48
3.3.8	Funktionseinheit Kontrolle	49

3.3.9	Funktionseinheit Schließen	50
3.3.10	Funktionseinheit Schweißen	50
3.3.11	Funktionseinheit Auswurf	51
3.3.12	Beförderungssystem der Blister zwischen den Funktionseinheiten	51
3.4	Kombinationsmöglichkeiten zu einem Gesamtsystem	52
3.5	Konzeptlayout der Verpackungsmaschine	53
4	Ausarbeitung	55
4.1	Weiterentwicklung des gewählten Konzepts in der Entwurfsphase	55
4.2	Kostenabschätzung	56
4.3	Richtlinien für die Detailkonstruktion	58
4.4	Ausführung der Verpackungsmaschine	59
4.4.1	Zusammenstellung	59
4.4.2	Palettenmagazin	63
4.4.3	Roboter	64
4.4.4	Gestell	65
4.4.5	Rundtakttisch	66
4.4.6	Blisterstation	68
4.4.7	Euroaufhängerstation	69
4.4.8	Einlegeblattstation	70
4.4.9	Etikettstation	72
4.4.10	Bohrerstation	74
4.4.11	Kontrollstation	75
4.4.12	Schließstation	76
4.4.13	Schweißstation	77
4.4.14	Auswurfstation	78
5	Zusammenfassung und Ausblick	79
	Abbildungsverzeichnis	80
	Tabellenverzeichnis	82
	Literaturverzeichnis	83

1 Einleitung

Um im Umfeld eines internationalen Marktes technisch und wirtschaftlich konkurrenzfähige Produkte produzieren zu können, ist auf den Einsatz von Automatisierungstechnik kaum mehr zu verzichten. Die Gründe dafür lassen sich grob in drei Kategorien zusammenfassen. Zum einen wird durch den Einsatz automatischer Systeme eine Kostensenkung erreicht. Zum anderen kommen solche Systeme dort zum Einsatz, wo auf anderem Weg die aus technischer Sicht gewünschten Resultate nicht erreichbar sind. Des Weiteren können Verbesserungen im Bereich der Arbeitssicherheit und Arbeitsergonomie erreicht werden.

Im Rahmen einer Diplomarbeit [6] ließ die Firma Johann Eberhard GmbH ihren Produktionsstandort in der Weststeiermark auf Optimierungspotentiale hin untersuchen. Eine der Optimierungsempfehlungen bestand im Einsatz einer vollautomatischen Verpackungsmaschine für die in großer Stückzahl produzierten Forstnerbohrer [6, S. 85]. Auf Basis dieser Empfehlung wurde die Aufgabenstellung der vorliegenden Diplomarbeit von der Firma Johann Eberhard GmbH entwickelt.

1.1 Aufgabenstellung

Es sollen Forstnerbohrer in verschiedenen Größen vollautomatisch mit Hilfe eines Beschriftungslasers signiert und in Blisterverpackungen eingeschweißt werden. Abbildung 1.1 zeigt das Sortiment der verschiedenen Bohrergrößen sowie eine fertige Verpackungseinheit.



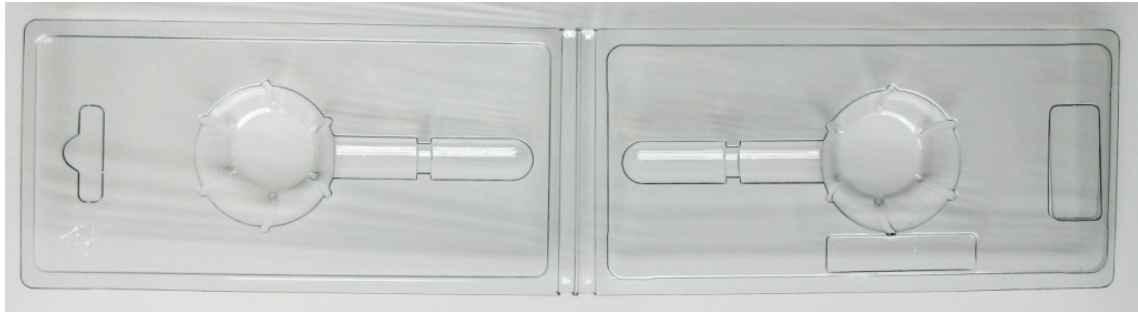
(a) Sortiment der verschiedenen Größen von Forstnerbohrern



(b) Einzelne Verpackungseinheit

Abbildung 1.1: Forstnerbohrer

Die fertige Verpackungseinheit besteht aus einem Blister, einem Einlegeblatt mit Produktinformationen, einem akustomagnetischen Etikett (AM-Etikett) und einem signierten Forstnerbohrer. In Abbildung 1.2 ist eine Übersicht der einzelnen Komponenten dargestellt.



(a) Blister



(b) Einlegeblatt



(c) Signierter Forstnerbohrer



(d) AM-Etikett auf Trägerfolie

Abbildung 1.2: Komponenten der Verpackungseinheit

Im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit soll eine für diese Aufgabe geeignete Maschine konstruiert und die zur Fertigung, Montage und Inbetriebnahme benötigten Unterlagen erstellt werden. Nach Abschluss der Vorauslegung soll für das favorisierte Konzept eine Kostenabschätzung durchgeführt werden. Die Firma Johann Eberhard GmbH gibt als Kostenobergrenze für die gesamte Maschine einen Betrag von 100.000 € vor. Die Fertigung und Montage wird, soweit als möglich, durch die Firma Johann Eberhard GmbH selbst durchgeführt. Die Auswahl und Programmierung der Steuerung ist dabei nicht Kerngegenstand der Diplomarbeit und wird von der Firma Johann Eberhard GmbH unter Unterstützung des Diplomanden bearbeitet.

1.2 Bestehende Verpackungsmaschine

Zur Unterstützung des manuellen Verpackens ist bereits eine Maschine im Einsatz. Abbildung 1.3 zeigt die bestehende Verpackungsmaschine mit einer Bezeichnung der wesentlichen mechanischen Baugruppen.

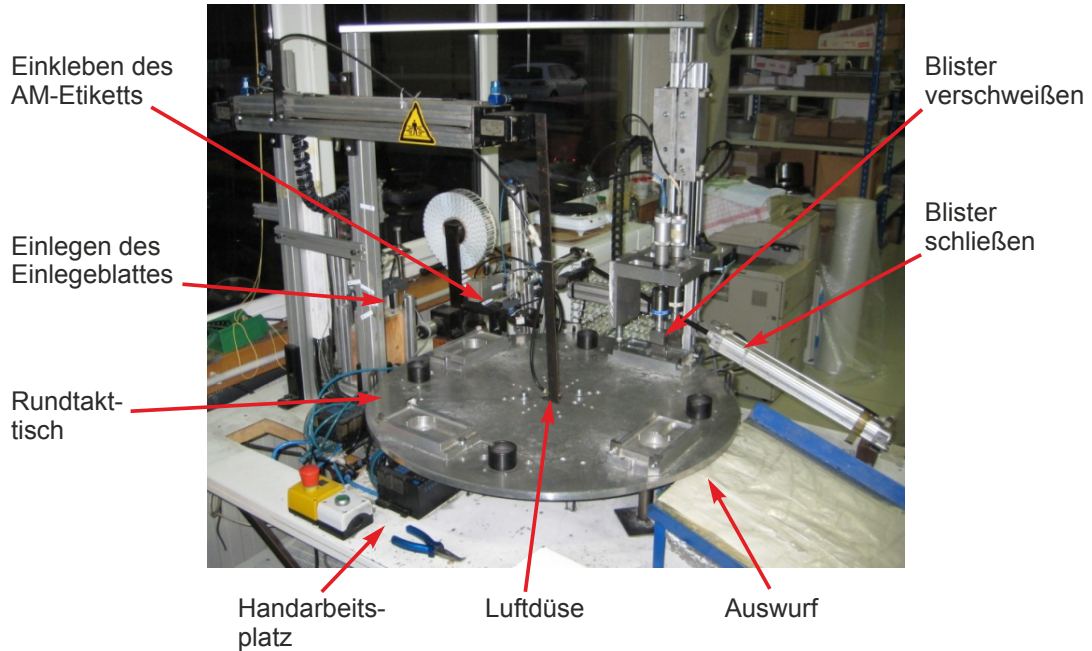


Abbildung 1.3: Bestehende Verpackungsmaschine

Es werden dabei folgende Arbeitsschritte ausgeführt:

1. *Manuelles Einlegen eines Blisters in den Werkstückträger des Handarbeitsplatzes*
2. *Manuelles Einlegen eines signierten Forstnerbohrers in den Blister*
3. *Einlegen des Einlegeblattes in den Blister*

Das Einlegeblatt wird von einer mit Vakuumsaugern bestückten Pick & Place-Einheit aufgenommen und in den Blister eingelegt. Zum Höhenausgleich im Magazin sind die Vakuumsauger federnd gelagert.

4. *Einlegen eines AM-Etiketts*

Die auf einer Trägerfolie aufgeklebten Etiketten werden über eine Umlenkung von der Folie gelöst und bleiben auf einer definierten Ablage liegen. Von dort werden sie von einer mit einem Vakuumsauger bestückten Pick & Place-Einheit aufgenommen und auf das Einlegeblatt geklebt.

5. *Blister schließen*

Eine Blisterhälfte wird durch Unterdruck im Werkstückträger gehalten, während die andere Hälfte von einer Luftdüse nach oben geblasen wird. Ein sich schräg nach unten bewegendes Mitnehmer schließt den Blister fast vollständig und hält ihn anschließend in dieser Position.

6. *Blister verschweißen*

Auf einer Montageplatte, die auf einem Führungszyylinder befestigt ist, sind Ultraschallkonverter und Stoßdämpfer montiert. Die Stoßdämpfer gewährleisten einerseits ein sanftes Aufsetzen der Schweißhörner auf dem Kunststoff, andererseits drücken sie den Blister weiter zusammen und schließen ihn somit vollständig.

7. *Fertige Verpackungseinheit auswerfen*

Ein von unten kommender Stößel wirft die fertige Blisterverpackung aus dem Werkstückträger. Eine Luftdüse bläst den Blister während des Wurfes nach außen auf eine Rutsche, die in eine Sammelbox führt.

Im Betrieb der Maschine treten eine Reihe von Problemen auf, die den Funktionsumfang beeinträchtigen und für Unmut bei den Mitarbeitern sorgen. Zum einen springen die AM-Etiketten beim Lösen von der Trägerfolie häufig unkontrolliert herunter und kommen daher nicht auf der vorgesehenen Position zum Liegen. Der Vakuumsauger greift dann ins Leere und das Etikett muss von Hand auf das Einlegeblatt geklebt werden. Zum anderen weist die Faltstelle in der Mitte der Blister keine gleichmäßigen mechanischen Eigenschaften auf. Infolgedessen wird der Blister meist schräg zugeklappt und kann anschließend nicht mehr richtig geschlossen werden. Aus diesem Grund wurden die Unterdruckeinheit und die Luftdüse außer Funktion gesetzt und das Schließen erfolgt manuell. Weiters liefern die verwendeten Schweißhörner nicht die gewünschte Schweißqualität. Einerseits ist das Ergebnis optisch nicht sehr ansprechend, andererseits wird zeitweise nicht vollständig durchgeschweißt, d.h. die Blister lassen sich von Hand leicht öffnen. Die Maschine weist auch ein lautes Betriebsgeräusch auf, da der verwendete Drehtisch eine sehr ruck- und stoßartige Bewegung ausführt.

Aufgrund der beschriebenen Faktoren wird die vorhandene Maschine nicht als Grundlage für die Konzeptfindung herangezogen. Ihre Vorzüge und Mängel werden bei der Lösungssuche für die Teilfunktionen aber selbstverständlich berücksichtigt.

1.3 Aufbau der Arbeit

Im Anschluss an die Einleitung werden in Kapitel 2 Grundlagen des methodischen Vorgehens für Konstruktionsaufgaben erläutert. Es werden allgemeine Methoden zur Lösungssuche vorgestellt und ein strukturiertes Vorgehen von der Produktidee bis zur Fertigungsfreigabe beschrieben. Weiters wird eine Auswahl von Bewertungsmethoden angesprochen.

In Kapitel 3 wird die Konzeptentwicklung zur weiteren Konstruktion der Verpackungsmaschine dargestellt. Diese orientiert sich an der in Kapitel 2 vorgestellten Vorgehensweise und beginnt mit der Klärung der Aufgabenstellung. Im Anschluss an die Aufgliederung der Gesamtfunktion in Teilfunktionen wird nach verschiedenen Lösungsmöglichkeiten gesucht. Die Bewertung der Teillösungen samt anschließender Kombination zu einem Gesamtsystem bildet den Abschluss dieses Kapitels.

Im darauffolgenden Kapitel 4 wird die Ausführung der Maschine als Ergebnis des Konstruktionsprozesses gezeigt. Zu Beginn wird die Weiterentwicklung der Konzepte zu konkreten Baugruppen beschrieben und eine Schätzung der Herstellkosten durchgeführt. Die gesamte Maschine sowie die einzelnen Baugruppen werden mit Hilfe von Abbildungen des CAD-Modells beschrieben und um eine Beschreibung der Funktionsweise ergänzt.

2 Grundlagen des methodischen Konstruierens

Methodisches Vorgehen hilft den Faktor Zufall¹ bei der Lösungssuche für konstruktive Aufgaben zu verringern. Weiters entsteht dabei eine Dokumentation, die ein späteres Nachvollziehen der Einflüsse auf die gefundene Lösung ermöglicht.

Die vorgestellten Methoden bzw. Vorgehensweisen sind jedoch nicht strikt zu befolgen, sondern sollen sinngemäß den jeweiligen Anforderungen angepasst werden. Sie sind auch kein Ersatz für fachliche Kompetenz und gute Intuition, da sie immer nur eine unterstützende Wirkung haben.

2.1 Allgemeine Methoden zur Unterstützung der Lösungssuche

Die nachfolgend beschriebenen Methoden stellen eine Grundlage für das methodische Arbeiten dar. Von ihnen wird in den verschiedenen Phasen des in Abschnitt 2.3 dargestellten Konstruktionsprozesses immer wieder Gebrauch gemacht [14, S. 74 ff], [16, S. 16 ff].

Analyse

Eine Analyse bezeichnet eine Informationsgewinnung durch Zerlegen und Aufspalten sowie durch Untersuchen der Eigenschaften einzelner Elemente und deren Zusammenhänge. Aus den gewonnenen Informationen wird ein Erkenntnis erarbeitet. Bezogen auf das in dieser Arbeit behandelte Thema, werden die Problem-, die Struktur- und die Schwachstellenanalyse explizit erwähnt.

Bei der Problemanalyse wird das Wesentliche vom Unwesentlichen getrennt. Weiters werden komplexe Problemstellungen durch Aufgliedern in überschaubare Teilbereiche zerlegt, um eine weitere Lösungssuche zu vereinfachen. Die Strukturanalyse sucht nach hierarchischen oder logischen Zusammenhängen, um z.B. Gemeinsamkeiten oder Wiederholungen zwischen verschiedenen Systemen aufzuzeigen. Jedes technische Gebilde, auch wenn es mit großer Sorgfalt entworfen und gebaut wurde, besitzt Fehler und Schwachstellen. Mit Hilfe der Schwachstellenanalyse kann ein Konzept, Entwurf oder auch ein bereits bestehendes technisches System auf seine Schwachstellen hin untersucht werden.

¹Zufall bedeutet hier, den richtigen Einfall genau im richtigen Augenblick zu haben.

Abstraktion

Durch Verallgemeinerung oder Vereinfachung lassen sich übergeordnete Zusammenhänge und Merkmale leichter finden. Ausgegangen wird dabei häufig von einer vorangegangenen Analyse. Die so gefundenen abstrakten Modelle können gut in eine gedankliche Struktur eingeordnet werden und unterstützen damit kreative und systematische Denkabläufe.

Synthese

Synthese bezeichnet die Entstehung einer neuen Einheit durch eine Verknüpfung mehrerer Elemente. Im Kontext einer Konstruktion bedeutet das die Verarbeitung der durch Analyse und Abstraktion erhaltenen Informationen zu Teilsystemen und in weiterer Folge zu einem funktionsfähigen Gesamtsystem. Das heißt es entsteht eine (mögliche) Lösung der Aufgabenstellung. Bei der Bearbeitung von Teilaufgaben ist es von Vorteil, ein Ganzheits- bzw. Systemdenken anzuwenden.

Gezieltes Fragen

Selbst gestellte oder vorgelegte Fragen regen den Denkprozess sowie die Intuition an. Weiters kann mit einem Fragenkatalog dazu beigetragen werden, dass ein Themengebiet möglichst umfassend betrachtet wird. In der Praxis wird dies häufig mit Hilfe von Checklisten erreicht.

Negation und Neukonzeption

Bei dieser Methode wird eine bekannte Lösung in einzelne Teile zerlegt und anschließend durch Aussagen beschrieben. Die Aussagen werden dann einzeln oder in Gruppen negiert. Durch diese bewusste Umkehrung und anschließende Bewertung der entstandenen Aussagen können neue Lösungskonzepte entstehen.

Methode des Vorwärtsschreitens

Ausgehend von einem ersten Lösungsansatz wird versucht, möglichst viele Wege einzuschlagen, die weitere mögliche Lösungen liefern. Dabei ist nicht nur ein systematisches Variieren, sondern zu Beginn auch ein unsystematisches Auseinanderlaufenlassen der Gedanken, sinnvoll. Eine grafische Darstellung, wie z.B. Mind Maps, unterstützt dieses Vorgehen.

Methode des Rückwärtsschreitens

Beginnend mit einem Entwicklungsziel werden hier mögliche Wege gesucht, die zu dem gewünschten Ziel führen. Ein Entwicklungsziel kann z.B. ein vorgegebenes Werkstück sein, zu dem ein Arbeitsplan für die Fertigung gesucht ist. Eine andere Anwendung wäre etwa für eine Aufgabe ein Idealsystem zu definieren, um im Anschluss rückwärtsschreitend mögliche Lösungen zu finden, die dieses Ziel möglichst gut erreichen.

Faktorisierung

Das Aufteilen eines komplexen Systems in mehrere einzelne Elemente (Faktoren) wird Faktorisierung genannt. Die so entstandenen Teilprobleme sind in gewissen Grenzen unabhängig und können nun gesondert bearbeitet werden. Die Lösung einzelner Teilprobleme ist in der Regel einfacher als die Lösung der Gesamtaufgabe im Ganzen. Dabei darf der Gesamtzusammenhang aber nie aus den Augen verloren werden.

Systematisierung

Sind kennzeichnende Merkmale bekannt, kann durch systematische Variation ein mehr oder weniger vollständiges Lösungsfeld erarbeitet werden. Charakteristisch für diese Methode ist das Aufstellen einer verallgemeinerten Ordnung. Vom arbeitswissenschaftlichen Standpunkt her sei noch erwähnt, dass dem Menschen die Lösungsfindung durch Aufbau und Ergänzung einer Ordnung leichter fällt.

Arbeitsteilung

Durch die fortschreitende Spezialisierung wird eine Arbeitsteilung immer wichtiger. Auch die Bearbeitung umfangreicher Aufgabenstellungen unter steigendem Zeitdruck trägt zu dieser Entwicklung bei. Um eine konstruktive Zusammenarbeit in Teams zu ermöglichen, sind klare Strukturen und Verantwortlichkeiten notwendig. Die Position des Produktmanagers hat sich beispielsweise durch diese Anforderungen entwickelt. Weiters tragen interdisziplinäre Teams zu einer kreativeren und weitreichenderen Lösungssuche bei.

2.2 Produktplanung

Jedes Wirtschaftsunternehmen ist auf die Erzielung von Gewinn ausgerichtet. Um dieses Ziel zu erreichen, muss die angebotene Produktpalette, die aus materiellen und immateriellen Gütern bestehen kann, gut durchdacht sein und stetig weiterentwickelt werden. Impulse für eine Weiterentwicklung können unternehmensintern generiert werden oder extern durch einzelne Kunden bzw. vom Markt kommen. Zur nachhaltigen Sicherung des Unternehmenserfolges ist es von Vorteil, den Faktor Zufall durch methodisches Vorgehen bei der Produktplanung zu minimieren. Im Rahmen dieser Arbeit wird das Thema Produktplanung als Vorarbeit des Konstruktionsprozesses betrachtet.

Ein mögliches methodisches Vorgehen ist in Abbildung 2.1 dargestellt. Die dargestellte Vorgehensweise soll dabei keine starre Abfolge von Arbeitsschritten, sondern Wegweiser für das eigene Vorgehen sein [14, S. 93 ff].

Das Resultat der Produktplanung kann von der Aufnahme eines neuen oder überarbeiteten Modells in die Produktpalette bis hin zur (Neu-)Ausrichtung einer ganzen Firma (Geschäftsfeld) reichen und betrifft daher verschiedene Abteilungen eines Unternehmens, wie z.B. Forschung und Entwicklung, Konstruktion, Marketing, Vertrieb, usw.

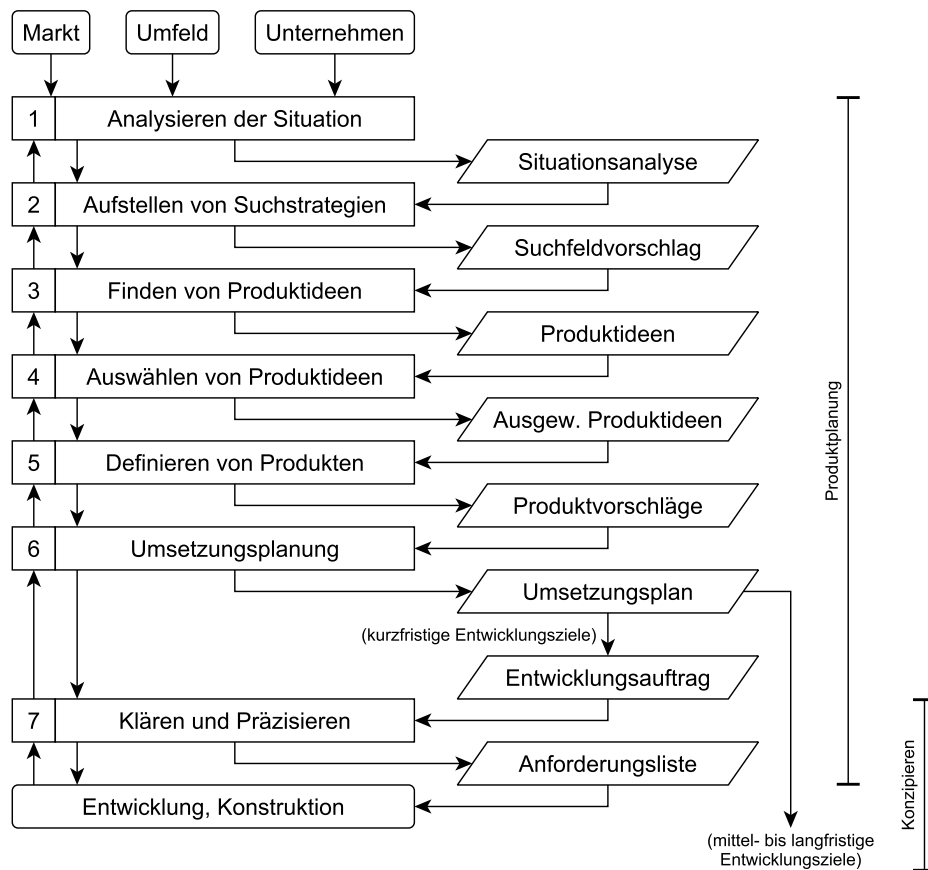


Abbildung 2.1: Methodisches Vorgehen bei der Produktplanung [14, S. 105]

Das für den Konstruktionsprozess relevante Ergebnis der Produktplanung ist die Anforderungsliste. Auf Basis dieser Anforderungsliste beginnt der Konstrukteur seine Arbeit, vgl. Abschnitt 2.3.

2.3 Phasen im Konstruktionsprozess

Gemäß dem Grundsatz „Vom Groben zum Detail“ teilt die VDI-Richtlinie 2222 [16] den Konstruktionsprozess in verschiedene Phasen mit steigendem Detaillierungsgrad ein. Die Phase Planen, als Vorarbeit zum eigentlichen Konstruktionsprozess, wurde bereits in Abschnitt 2.2 behandelt und wird daher an dieser Stelle nicht weiter betrachtet. Abbildung 2.2 gibt einen Überblick der einzelnen Phasen des Konstruktionsprozesses. Am Ende einer jeden Phase muss entschieden werden, ob die gefundene Lösung weiterverfolgt wird, oder ein neuer Anlauf zur Suche einer besseren Lösung gestartet werden muss. Dafür kann ein Rückspringen zum Beginn der aktuellen Phase, aber auch zu einer vorangegangenen Phase notwendig sein.

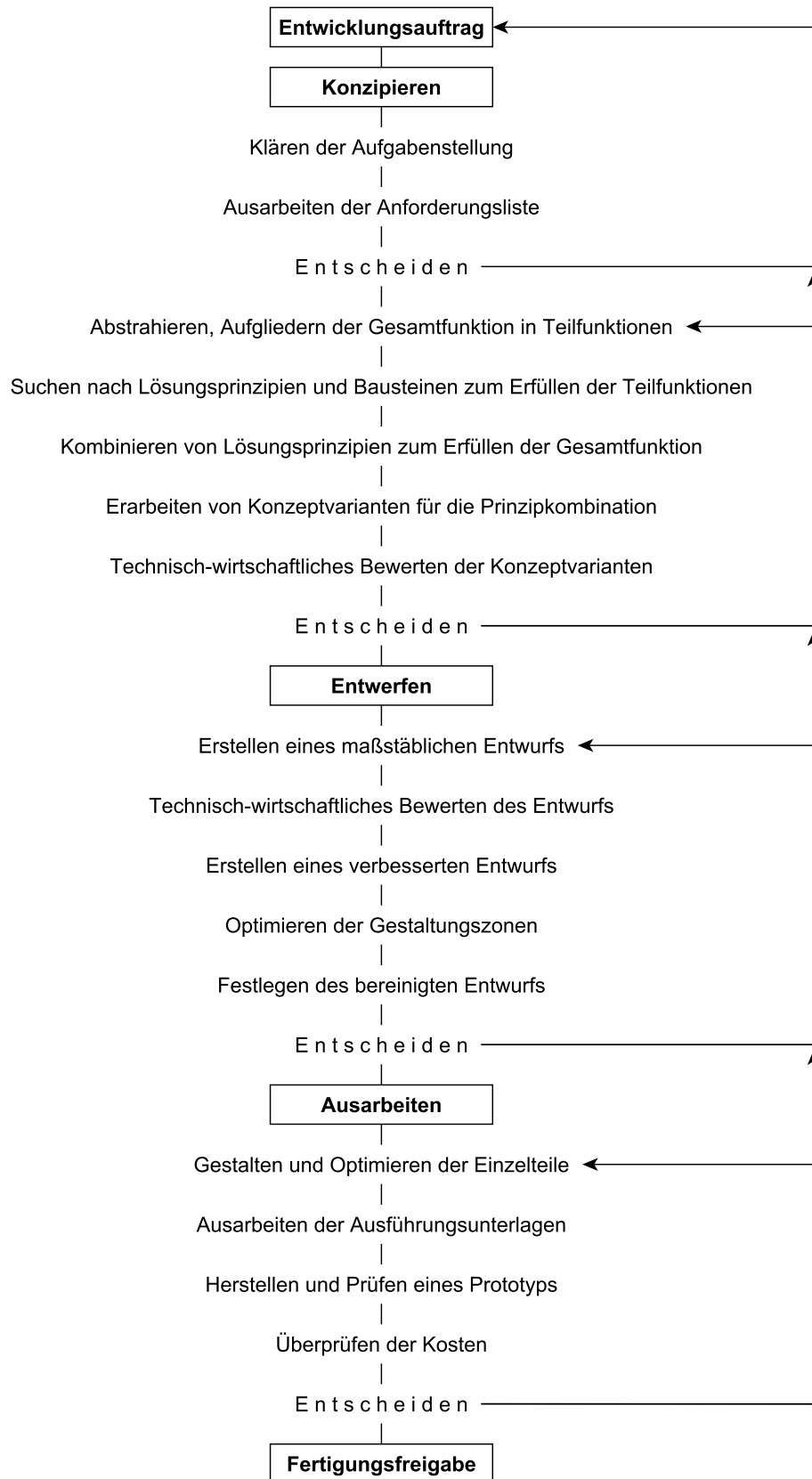


Abbildung 2.2: Konstruktionsphasen [16, S. 3]

Konzipieren

Am Beginn der Konzeptphase steht das Klären der Aufgabenstellung.² Dabei entsteht eine aus Forderungen und Wünschen bestehende Anforderungsliste. Weiters müssen zulässige Kosten und Terminvorgaben festgehalten werden. Anschließend wird untersucht, ob die Anforderungsliste den Entwicklungsauftrag richtig abbildet und eine Realisierung prinzipiell möglich erscheint. Der nächste Arbeitsschritt besteht in der Abstraktion der Aufgabe. Diese erleichtert das Erkennen von Zusammenhängen und die Aufstellung der Funktionsstruktur. Für die gefundenen Teilfunktionen werden danach Lösungsprinzipien gesucht, siehe Abschnitt 2.4, und geeignet zu möglichen Gesamtkonzepten kombiniert. Abschließend werden die gefundenen Varianten bewertet, siehe Abschnitt 2.5.

Entwerfen

In der Entwurfsphase werden die (Teil-)Konzepte zu maßstäblichen Entwürfen weiterentwickelt. Der Detaillierungsgrad ist dabei so gering wie möglich, aber so genau wie nötig zu wählen. Der Entwurf wird iterativ solange bewertet und verbessert, bis eine zufriedenstellende Lösung gefunden wird. Um den Aufwand für die Entwurfsphase zu begrenzen, wird in der Regel nur ein Gesamtkonzept weiter ausgearbeitet.

Ausarbeiten

Bei der Ausarbeitungsphase wird der zuvor gefundene Entwurf weiter detailliert, bis alle notwendigen Ausführungsunterlagen entstanden sind. Je nach Bedarf werden auch Versuche zur Sicherstellung der Funktionstüchtigkeit durchgeführt. Nach einer abschließenden Überprüfung der Kosten kann die Fertigungsfreigabe erfolgen.

Das hier vorgestellte Vorgehen beim Konstruieren bezieht sich auf Neuentwicklungen. Die in der Praxis vorkommenden unterschiedlichen Entwicklungsaufträge erfordern jedoch verschiedene Konstruktionsarten. Je nach Anforderung müssen dabei nicht alle Phasen des beschriebenen Konstruktionsprozesses durchlaufen werden bzw. werden die Phasen nicht vollständig ausgeführt. Die mit Beispielen veranschaulichten Konstruktionsarten sind [11, S. 11]:

- Neukonstruktion: Ersetzen eines gestuften durch ein stufenloses Getriebe
- Anpassungskonstruktion: Veränderung der Stufenzahl eines Getriebes
- Variantenkonstruktion: Umstellung des Getriebegehäuses von Guss- auf Schweißkonstruktion
- Konstruktion mit festem Prinzip: Getriebe mit verschiedenen Achsabständen in einer Baureihe

²Die meisten Schäden, Mängel und Beanstandungen resultieren aus der unzureichenden Klärung der Anforderungen [11, S. 1].

Es haben sich noch weitere Begriffe für unterschiedliche Konstruktionsarten eingebürgert, welche sich jedoch gut der dargestellten Einteilung zuordnen lassen. Abbildung 2.3 zeigt die Zuordnung der notwendigen Phasen zu den verschiedenen Konstruktionsarten.

Konstruktionsarten		Konstruktionsphasen			
		Konzipieren		Entwerfen	Ausarbeiten
Gruppenbegriffe	gebräuchliche Begriffe der Praxis	Funktionsfindung	Prinzip-erarbeitung	Gestaltung	Detaillierung
Neukonstruktion	Neukonstruktion	[Bar chart showing phases across all categories]			
	Entwicklungs-konstruktion	[Bar chart showing phases across all categories]			
	Angebots-konstruktion	[Bar chart showing phases across all categories]			
Anpassungskonstruktion	Anpassungs-konstruktion	[Bar chart showing phases across all categories]			
	Angebots-konstruktion	[Bar chart showing phases across all categories]			
	Fertigungs-konstruktion	[Bar chart showing phases across all categories]			
	Änderungs-konstruktion	[Bar chart showing phases across all categories]			
Varianten-konstruktion	Varianten-konstruktion	[Bar chart showing phases across all categories]			
Konstruktion mit festem Prinzip	Prinzip-konstruktion	[Bar chart showing phases across all categories]			

Abbildung 2.3: Konstruktionsarten und Konstruktionsphasen [11, S. 12]

Die beim Durchlaufen des Konstruktionsprozesses entstehenden Arbeitsergebnisse zeigt Abbildung 2.4. Der Konzeptphase lassen sich die Arbeitsebenen 1–4, der Entwurfsphase die Ebenen 5–6 und der Ausarbeitungsphase die Arbeitsebene 7 zuordnen.

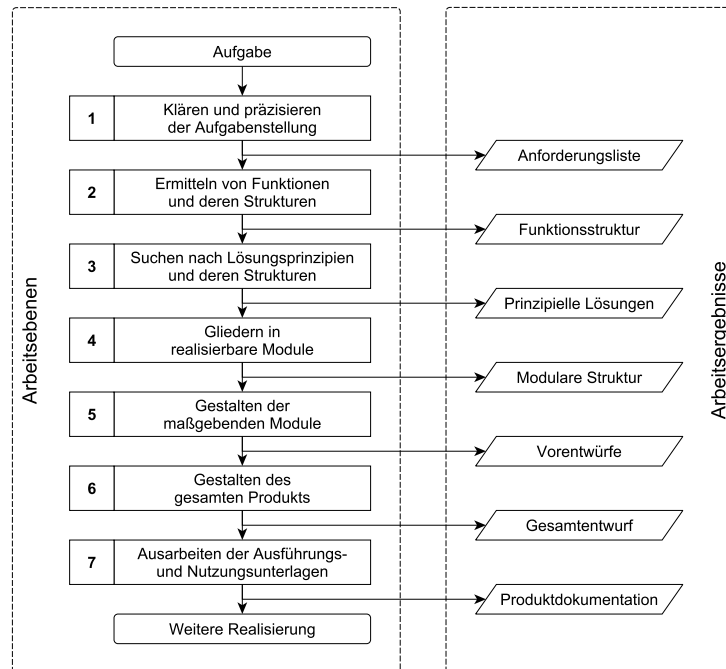


Abbildung 2.4: Arbeitsebenen und Arbeitsergebnisse [18, S. 9]

2.4 Methoden zur Lösungssuche

Bevor man sich auf die Suche nach einer Lösung machen kann, sollte man sich darüber im Klaren sein, was eine gute Lösung kennzeichnet. Eine solche Lösung erfüllt alle Forderungen sowie auch die meisten Wünsche der Anforderungsliste. Bei der Betrachtung einer Teilfunktion werden natürlich nur die für die Teilfunktion relevanten Punkte der Anforderungsliste berücksichtigt. Außerdem muss die Lösung unter den gegebenen Randbedingungen realisierbar sein. Sie wird kaum als Ganzes mit allen Details ins Bewusstsein treten, sondern vielmehr das Ergebnis mehrerer Iterationen eines Prozesses zur Lösungssuche sein. Pahl/Beitz teilen in [14, S. 121 ff] die Methoden zur Lösungssuche in verschiedene Gruppen ein, in denen auch die in Abschnitt 2.1 vorgestellten allgemeinen Methoden nach Bedarf zur Anwendung kommen können.

Die Anwendung einer einzelnen Methode führt selten direkt zu einer perfekten Lösung. Erst die kombinierte Anwendung mehrerer geeigneter Methoden (intuitiv, diskursiv, usw.) ermöglicht es, den maximalen Nutzen aus den einzelnen Vorgehensweisen zu ziehen.

2.4.1 Konventionelle Methoden

Konventionelle Methoden zur Lösungssuche befassen sich mit bereits bekanntem Wissen. Dieses Wissen kann in Form von Literatur und Dokumenten aller Art oder aus existierenden Systemen bestehen. Daraus können sich direkt Anregungen oder Anleitungen zur Lösung der betrachteten Aufgabe ergeben. Weiters erhöhen diese Methoden das (Fach-)Wissen und unterstützen damit auch die Lösungssuche mittels intuitiver Methoden.

Kollektionsverfahren

Ein erster Schritt auf der Suche nach einer Lösung besteht häufig darin, sich über den aktuellen Stand der Technik zu informieren. Wie der Name bereits vermuten lässt, geht es dabei um das Sammeln und Auswerten von Informationen [10, S. 308]. Das bekannteste Beispiel für ein Kollektionsverfahren ist die Literaturrecherche. Durch die Einbeziehung des Internets lässt sich so relativ schnell ein guter Überblick zu einem Thema herstellen. Dabei steht allerdings nicht der Zugriff auf gesammeltes Wissen (z.B. Wikipedia), sondern die Vermittlung zu einzelnen Webseiten (z.B. Firmen oder Universitäten) im Vordergrund.

Analyse natürlicher Systeme

In der Natur findet sich eine große Vielfalt von Formen, Strukturen und Vorgängen. Die Übertragung natürlicher Systeme auf technische Gebilde hat schon viele Fortschritte geliefert, wie z.B. im Leichtbau oder in der Flugtechnik.

Analyse bekannter technischer Systeme

Für viele technische Problemstellungen gibt es bereits zufriedenstellende Lösungen oder zumindest Teillösungen. Frei nach dem Motto „Man muss das Rad nicht jedes Mal neu

erfinden“ steht eine gedankliche Analyse oder auch eine tatsächliche physische Zerlegung bekannter Lösungen vielfach am Beginn der weiteren Konstruktion. Bekannte Lösungen können Produkte von Mitbewerbern oder ältere Produkte des eigenen Unternehmens sein. Produkte, die den eigenen Anforderungen nur teilweise entsprechen, können ebenfalls wertvolle Impulse liefern.

Analogiebetrachtungen

Fasst man die Analyse bekannter technischer Systeme sehr weiträumig auf, kommt man zur Analogiebetrachtung. Im Kontext der Lösungssuche können Analogien dazu beitragen, den eigenen Horizont zu erweitern. Weiters erlaubt die Untersuchung analoger Systeme das Verhalten eines Systems in einem frühen Entwicklungsstadium abzuschätzen. Die bereits erwähnte Analyse natürlicher Systeme kann als Beispiel für eine Analogiebetrachtung gesehen werden.

Versuche

Bei der Massenfertigung und bei Produkten mit speziellen Anforderungen sind Messungen an Versuchsteilen ein unerlässlicher Teil der Produktentwicklung. Diese liefern wichtige Informationen über die im Konstruktionsprozess getroffenen Annahmen und über die Qualität der gefundenen Lösung.

2.4.2 Intuitive Methoden

Häufig findet der Konstrukteur Lösungen für Probleme intuitiv, d.h. eine Lösungsidee tritt scheinbar zufällig und ohne logische Herleitung ins Bewusstsein. Das Problem dabei ist, dass ein guter Einfall nicht erzwungen werden kann. Intuitive Lösungsansätze basieren immer auf dem Wissen und der Erfahrung der jeweiligen Person. Neue, dem Konstrukteur unbekannt, Technologien und Verfahren werden nicht berücksichtigt. Daher sollte z.B. im Zuge der Anwendung eines Kollektionsverfahrens das eigene Wissen stetig erweitert und auch der Blick über den Tellerrand des eigenen Spezialgebietes nicht gescheut werden.

Es gibt einige Methoden, die eine intuitive Lösungssuche positiv beeinflussen. Auswirkungen der Gruppendynamik bilden häufig die Grundlage dieser positiven Effekte. Diese Methoden werden dann angewendet, wenn auf konventionellem Weg keine zufriedenstellende Lösung gefunden werden konnte oder generell eine neue unkonventionelle Lösung gesucht wird. Welche Vorgehensweise am erfolgversprechendsten ist, hängt stark von der jeweiligen Aufgabenstellung und der Einstellung der Teilnehmer ab.

Brainstorming

Das Brainstorming ist ein Klassiker unter den intuitiven Methoden. Es wurde von Osborn in [13] erstmals beschrieben und im Laufe der Jahre weiterentwickelt. Wie der Name bereits andeutet, zielt ein Brainstorming darauf ab im Gehirn einen Sturm zu erzeugen, der

wiederum eine Flut an Gedanken produzieren soll. Die Idee dahinter ist, dass eine Gruppe aufgeschlossener Menschen aus verschiedenen Erfahrungsbereichen vorurteilslos Ideen zu einer bestimmten Problemstellung produziert und sich dabei gegenseitig zu neuen Vorschlägen anregt. Um diese Gruppendynamik auch wirklich erreichen zu können, sind einige Regeln zu beachten:

- Die Gruppe sollte aus 5 bis 15 Personen mit verschiedenen Fachbereichen zusammengesetzt sein. Auch das Hinzuziehen von Nichttechnikern zum Lösen technischer Aufgabenstellungen stellt für die gefunden Ideen häufig eine Bereicherung dar. Die Gruppenmitglieder sollten gleichgestellt sein, um etwaige Hemmungen durch Rücksicht auf Vorgesetzte oder unterstellte Mitarbeiter zu vermeiden. Diese Regeln zur Gruppenzusammenstellung gelten auch für die im Anschluss vorgestellten Methoden.
- Der Leiter der Gruppe sollte nur organisatorische Aufgaben übernehmen. Im obliegt es, die Gruppe zusammenzustellen, die Dauer festzulegen, einen Protokollführer zu ernennen, die Auswertung zu koordinieren und zu Beginn die Aufgabenstellung darzustellen. Weiters sollte er für eine angenehme Stimmung und für die Einhaltung der Regeln sorgen. Um das Eis zu brechen, kann er z.B. damit beginnen, einige absurd erscheinende Ideen vorzubringen.
- Bei der Durchführung selbst ist auf einige Punkte Rücksicht zu nehmen. Alle Beteiligten müssen ihre Gedanken hemmungsfrei vortragen können, d.h. keine Idee darf von der Gruppe von vornherein als falsch, dumm oder blamabel betrachtet werden. Generell gilt: Am Vorgebrachten darf keine Kritik geübt werden, da es ja um eine Ideengenerierung geht. Die Vorschläge sollten soweit präzisiert werden, dass eine Anwendbarkeit auf die vorliegende Problemstellung ersichtlich wird. Länger als eine dreiviertel Stunde sollte die kreative Phase des Brainstormings nicht dauern, da eine längere Zeit erfahrungsgemäß nichts Neues mehr zu Tage fördert.
- Die Auswertung der durch das Brainstorming gewonnenen Ergebnisse erfolgt durch Fachleute, die auch schon Teil der Gruppe sein können. Das Ergebnis der Auswertung kann bei Bedarf noch einmal mit der Gruppe diskutiert werden, um etwaige Missverständnisse auszuräumen und gegebenenfalls neue oder weiterführende Gedanken zu entwickeln. Auch diese Regeln gelten allgemein für die weiteren Methoden.

Methode 635

Die Methode 635 stellt eine Abwandlung des Brainstormings dar und wurde von Rohrbach in [15] erstmals veröffentlicht. Die Teilnehmer bringen drei Lösungsvorschläge zu Papier und geben diese, nach einer der Aufgabe entsprechenden Zeit, an ihren Nachbarn weiter. Nach einem kurzen Studium der Vorschläge erweitert jeder Teilnehmer diese um drei weitere Lösungen bzw. ergänzt die bereits vorhandenen Vorschläge. Bei sechs Teilnehmern werden die Vorschläge fünf Mal weitergereicht. Daher auch der Name „Methode 635“.

Galeriemethode

Die Galeriemethode von Hellfritz [5] verbindet Einzel- mit Gruppenarbeit und besteht aus fünf Phasen:

1. In der *Einführungsphase* wird das Problem durch den Gruppenleiter dargestellt.
2. In der *Ideenbildungsphase I* suchen die einzelnen Teilnehmer intuitiv und möglichst vorurteilsfrei nach möglichen Lösungen. Das Ergebnis liegt schriftlich in Form von Skizzen und etwaigen verbalen Ergänzungen vor. Der Zeitrahmen für diese Phase beträgt ca. 15 min.
3. In der *Assoziationsphase* werden die Ergebnisse der Ideenbildungsphase I in einer Art Galerie aufgehängt, um den Gruppenmitgliedern ein visuelles Erfassen aller Ergebnisse zu ermöglichen. Durch Negation und Neukonzeption, vgl. Abschnitt 2.1, sollen hier Ideen gewonnen, ergänzt oder verbessert werden. Im Gegensatz zur Ideenbildungsphase ist hier eine Gruppenarbeit erwünscht. Der Zeitrahmen für diese Phase beträgt ebenfalls ca. 15 min.
4. In der *Ideenbildungsphase II* werden die aus der Assoziationsphase gewonnenen Ergebnisse von den einzelnen Teilnehmern wiederum schriftlich festgehalten.
5. In der *Selektionsphase* werden alle entstandenen Ideen von der Gruppe (nochmals) gesichtet und die Erfolgversprechendsten ausgewählt.

Synektik

Die Bezeichnung Synektik stammt von einem aus dem Griechischen abgeleiteten Kunstwort und bedeutet „Zusammenfügen verschiedener und scheinbar voneinander unabhängiger Begriffe“. Eingeführt wurde diese Methode von Gordon in [4]. Die Synektik ist eine dem Brainstorming ähnliche Methode, daher gelten die allgemeinen Regeln und Anforderungen an die Gruppenzusammensetzung und Durchführung, wobei die Gruppengröße auf sieben Teilnehmer beschränkt bleiben sollte. Die grundsätzliche Idee besteht darin, sich durch Analogien aus dem nicht- oder halbtechnischen Bereich Anregungen zu holen und diese auf das betrachtete Problem zu übertragen. Nachfolgende Aufzählung stellt einen typischen Ablauf dar:

1. Darlegen der Problemstellung
2. Analysieren des Problems
3. Verstehen des Problems
4. Aufstellen von Analogien
5. Analysieren der Analogien
6. Vergleichen der Analogien mit dem bestehenden Problem
7. Entwickeln einer neuen Idee aus den Vergleichen

8. Entwickeln einer möglichen Lösung

Gegebenenfalls können mit dem Aufstellen anderer Analogien weitere Durchgänge begonnen werden.

2.4.3 Theorie des erfinderischen Problemlösens TRIZ

Die Abkürzung TRIZ kommt aus dem Russischen und steht für „Teoria reshenija izobretatjelskich zadacz“. Diese Methode zur Lösungssuche wurde 1946 von Altschuller eingeführt und seither stetig weiterentwickelt und angepasst. Nach Durchsicht von 200.000 Patenten erkannte Altschuller drei Gesetzmäßigkeiten [7]:

- Einer großen Anzahl von Erfindungen liegt eine vergleichsweise kleine Anzahl von allgemeinen Lösungsprinzipien zugrunde
- Erst das Überwinden von Widersprüchen macht innovative Entwicklungen möglich
- Die Evolution technischer Systeme folgt bestimmten Mustern und Gesetzen

Auf Grundlage dieser Erkenntnisse entwickelte Altschuller einen Werkzeugkasten, mit dem es möglich ist, Problemlösungen systematisch zu erarbeiten und dabei weniger auf „zufällig“ gefundene intuitive Ideen angewiesen ist.

TRIZ stützt sich auf vier Säulen, denen verschiedene Methoden bzw. Werkzeuge zugeordnet sind. Diese sind in Abbildung 2.5 mit einigen beispielhaften Werkzeugen dargestellt und im Anschluss kurz beschrieben.

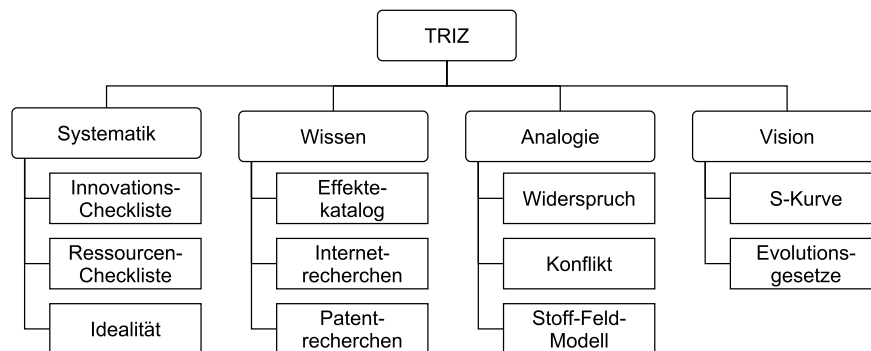


Abbildung 2.5: Die vier Säulen der TRIZ mit einer Auswahl der jeweiligen Werkzeuge [7]

- *Systematik:*
Dieser Bereich enthält Methoden zur Beschreibung der Aufgabenstellung sowie Werkzeuge zur Analyse von Problemstellungen und Verfahren zur Synthese von Problemlösungen.
- *Wissen:*
Dieser Bereich stellt eine Art Wissensdatenbank dar und beinhaltet nicht nur den technischen Bereich.

- *Analogie:*

In diesem Bereich wird die Analogie von Widersprüchen und Konflikten betrachtet.

- *Vision:*

Hier wird die Entwicklung von Technologien anhand von Evolutionsgesetzen abgeschätzt.

Die Strategie des Problemlösens mit TRIZ beruht auf einem Ansatz, der beispielsweise auch in der Mathematik genutzt wird:

1. Beschreiben des konkreten Problems
2. Umschreiben auf eine abstrahierte Problemdarstellung
3. Suche nach Lösungen in der TRIZ-Wissensbasis
4. Umschreiben auf das konkrete Problem

Abbildung 2.6 zeigt die TRIZ-Strategie zusammen mit der mathematischen Lösungssuche. Der Pfeil mit der Bezeichnung Trial& Error stellt dabei die herkömmliche intuitive Lösungssuche dar, die häufig nur der scheinbar kürzere Weg ist.

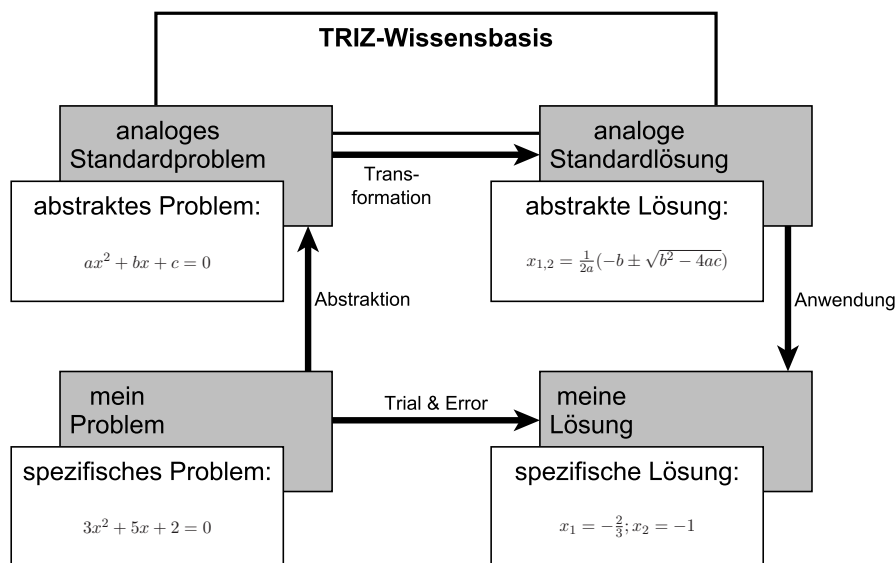


Abbildung 2.6: Problemlösungsstrategie der TRIZ [8, S. 10]

TRIZ ist eine umfangreiche Methodik und bedarf vor dem ersten gewinnbringenden Einsatz einer gründlichen Schulung. Für den praktischen Einsatz im technischen Bereich gibt es eine große Vielfalt an Fachbüchern, z.B. [12].

2.4.4 Diskursive Methoden

Im Gegensatz zu den intuitiv betonten Methoden werden hier Lösungen durch bewusst schrittweises Vorgehen erarbeitet. Ein diskursives Vorgehen eignet sich gut für die Bearbeitung von Teilaufgaben.

Untersuchung des physikalischen Zusammenhangs

Voraussetzung für die Anwendung dieser Methode ist, dass der zur Lösung der Problemstellung zu verwendende physikalische (mechanische, chemische, biologische, usw.) Effekt bereits bekannt bzw. vorgegeben ist. Liegt für den betrachteten Zusammenhang z.B. eine Gleichung in der Form $y = f(x_1, x_2, x_3)$ vor, so können durch konstant halten zweier Variablen x_i und Variation einer Variable x_j Lösungsmöglichkeiten untersucht werden.

Weiters besteht die Möglichkeit durch Zerlegung bekannter physikalischer Wirkungen in Einzeleffekte zu neuen Lösungen bzw. Produkten zu gelangen. Das Ergebnis dieses Vorgehens kann die Entwicklung eines völlig neuen Geräts oder die Anwendung eines bekannten Geräts bzw. Effekts für neue Aufgabengebiete sein.

Systematische Suche mit Hilfe von Ordnungsschemata

Eine Systematisierung von Informationen regt einerseits zum Suchen weiterer Lösungen in einer bestimmten Richtung an, andererseits wird das Erkennen wesentlicher Merkmale und deren Verknüpfung erleichtert.

Die verwendeten Ordnungsschemata haben vom Prinzip her einen ähnlichen Aufbau. Dieser ist zweidimensional und besteht aus Zeilen und Spalten, denen ordnende Gesichtspunkte zugeordnet werden, siehe Abbildung 2.7a. Sind solche Parameter nur für eine Dimension ersichtlich bzw. zweckmäßig, werden sie meist den Zeilen zugeordnet und die Spalten können die Funktion einer Nummerierung übernehmen, siehe Abbildung 2.7b. Sind hingegen weitere Dimensionen erforderlich, lässt sich durch eine Parameteraufgliederung wieder ein zweidimensionales Schema erreichen, siehe Abbildung 2.7c. Diese Aufteilungen sind mit Bedacht einzusetzen, da die Übersichtlichkeit dabei schnell verloren gehen kann. Eine solche zusätzliche Dimension kann z.B. auch eine Nummerierung bei zweidimensionalen ordnenden Gesichtspunkten sein, siehe Abbildung 2.7d.

Verwendung von Katalogen

Kataloge sind eine Sammlung von systematisch aufbereitetem Wissen und bieten damit einen effektiven Zugriff auf eben dieses Wissen [17]. Im technischen Bereich beinhalten sie bekannte und bewährte (Teil-)Lösungen auf verschiedenen Abstraktionsniveaus für konstruktive Aufgaben. Der Inhalt reicht von physikalischen Effekten über Wirkprinzipien und prinzipielle Lösungen bis hin zu Normteilen, Werkstoffen, usw. Norm- und Fachbücher zählen ebenfalls zu den hier betrachteten Katalogen. Allgemeine Forderungen an Konstruktionskataloge sind:

- Einfacher Zugriff auf die gesammelten Daten
- Weitgehende Vollständigkeit
- Möglichst große Branchen- und Firmenunabhängigkeit
- Einheitliche und eindeutige Definition von Begriffen und Symbolen

		Spaltenparameter			
		S1	S2	S3	S4
Zeilenparameter	Z1				
	Z2				
	Z3				
	Z4				

(a) Zweidimensionales Ordnungsschema

		Numerierung			
		1	2	3	4
Zeilenparameter	Z1				
	Z2				
	Z3				
	Z4				

(b) Einfaches Ordnungsschema mit Numerierung

		S1		S2	
		S11	S12	S21	S22
Z1	Z11				
	Z12				
Z2	Z21				
	Z22				

(c) Erweitertes Ordnungsschema mit Parameternaufgliederung

		1	2	3	4
		Z11	Z1		
Z2					
Z12	Z3				
	Z4				

(d) Erweitertes Ordnungsschema mit Numerierung

Abbildung 2.7: Ordnungsschemata [14, S. 146 f]

Daraus ergibt sich ein grundsätzlich vierteiliger Aufbau mit Gliederungsteil, Hauptteil, Zugriffsteil und Anhang eines guten Katalogs. Im Gliederungsteil wird der systematische Aufbau festgelegt. Hier haben ordnende Gesichtspunkte entscheidende Bedeutung. Der Hauptteil enthält den eigentlichen Inhalt des Katalogs. Es ist darauf zu achten, dass alle Informationen auf dem gleichen Abstraktionsniveau stehen und von Nebensächlichkeiten befreit sind. Im Zugriffsteil sind die Eigenschaften der enthaltenen Objekte zusammengefasst und erlauben damit eine gezielte Auswahl anhand dieser Eigenschaften. Der Anhang bietet Platz für ergänzende Vermerke, Berechnungen, Diagramme, usw.

2.4.5 Lösungskombination

Wie bereits in Abschnitt 2.1 erwähnt, ist es oft hilfreich Gesamtprobleme in Teilprobleme aufzuteilen und diese dann einzeln zu bearbeiten. Natürlich müssen sich die gefundenen Teillösungen zu einer Gesamtlösung zusammenfügen lassen, um das Gesamtproblem zu lösen. Da die gefundenen Teillösungen meist nicht gänzlich unabhängig voneinander sind, ist auf die Verträglichkeit und Beeinflussung untereinander zu achten. Die beiden im Anschluss kurz vorgestellten Methoden können zur Erleichterung des Kombinationsvorgangs beitragen.

Kombinieren mit Hilfe von Ordnungsschemata

Ein von Zwicky als morphologischer Kasten [21] bezeichnetes Ordnungsschema hat sich bei einer systematischen Lösungskombination als hilfreich erwiesen. Dabei werden in Zeilen die gesuchten Teilfunktionen und daneben die möglichen Lösungen eingetragen. Diese können eventuell mit einfachen Skizzen oder Schlagworten ergänzt werden. Bei n Teilfunktionen

und m_j Lösungen für die j -te Teilfunktion ergibt das $N = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot \dots \cdot m_j$ theoretisch mögliche Lösungskombinationen. Durch Verbinden der Teillösungen kann man mögliche Gesamtlösungskombinationen übersichtlich darstellen, siehe Abbildung 2.8.

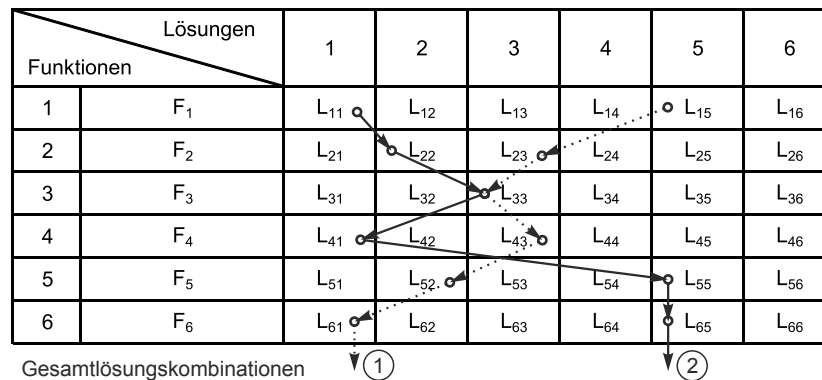


Abbildung 2.8: Morphologischer Kasten

Um das Erkennen der miteinander verträglichen Teillösungen zu erleichtern, können die Teilfunktionen so angeführt werden, wie sie auch in der Funktionsstruktur vorkommen. Weiters können auch die Lösungsmöglichkeiten nach zusätzlichen Spaltenparametern, wie z.B. Energieart, geordnet werden.

Eine Hilfe bei der Verträglichkeitsprüfung von zwei Teilfunktionen stellt die Verträglichkeitsmatrix dar. Dabei werden die Lösungsmöglichkeiten der beiden Teilfunktionen in die Kopfzeile bzw. Kopfspalte geschrieben. In die entsprechenden Zellen der Matrix werden dann Merkmale der jeweiligen Kombination eingetragen. Dadurch erhält man eine gute Übersicht über die Verträglichkeit der Kombinationsmöglichkeiten, siehe Abbildung 2.9.

Teilfunktion 1		Teilfunktion 2			
		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
		1	2	3	4
Variante 1	A	ja	ja	Nein, Hinweis	Nein, Hinweis
Variante 2	B	ja, wenn Hinweis	ja	Nein, Hinweis	ja
Variante 3	C	Nein, Hinweis	ja	ja, wenn Hinweis	ja, wenn Hinweis
Variante 4	D	ja	Nein, Hinweis	Nein, Hinweis	ja

Abbildung 2.9: Verträglichkeitsmatrix [14, S. 161]

Kombinieren mit Hilfe mathematischer Methoden

Mathematische Methoden zur Lösungssuche sind meist nicht einfach anzuwenden und eignen sich auch nicht für jede Aufgabenstellung. Vor allem bei einem niedrigen Konkretisierungsgrad lassen sich relevante Eigenschaften nur schwer und ungenau quantisieren.

Neben den Gleichungen selbst muss auch die geometrische Struktur verträglich sein, um z.B. Kollisionen zu vermeiden. Um diesen Einfluss zu berücksichtigen, müssen weitere Zuordnungen aufgestellt werden. Mit steigender Komplexität der Problemstellung steigt

auch der Aufwand für diese Zuordnungen. Der Konstrukteur muss daher häufig selbst zwischen verschiedenen Varianten entscheiden. Mathematische, d.h. meist rechnergestützte Methoden können den Konstrukteur in seiner Entscheidungsfindung nur unterstützen, ihm diese aber nicht völlig abnehmen.

2.5 Bewertungsmethoden

Das Ergebnis methodischen Vorgehens ist in der Regel ein breites Lösungsfeld, d.h. eine große Anzahl an theoretisch denkbaren Lösungsvorschlägen. Meistens sind allerdings nicht alle Lösungsmöglichkeiten auch praktisch umsetzbar. Die Bewertung ist eine Entscheidungshilfe zur Auswahl der „besten“ Lösungsmöglichkeit. Ein systematisches Bewerten aller Lösungsvarianten geht mit einem großen Aufwand einher. Daher empfiehlt es sich, vor dem eigentlichen Bewerten eine Auswahl verfolgungswürdiger Lösungsmöglichkeiten zu treffen.

2.5.1 Auswählen der zu bewertenden Lösungsvarianten

Zur Erleichterung des Auswahlverfahrens und für die Dokumentation bzw. einen späteren Zugriff auf alle Lösungsmöglichkeiten, wie z.B. einem Rückschritt im Konstruktionsprozess, sollte auch hier geordnet und nachvollziehbar vorgegangen werden [14, S. 162 ff].

Die Verwendung einer Auswahlliste stellt hierfür ein geeignetes Mittel dar. Die genaue Gestaltung des Inhalts hängt von der Art der jeweiligen Problemstellung ab, sollte aber folgende Punkte berücksichtigen:

- Verträglichkeit mit der Aufgabenstellung bzw. untereinander (Kriterium A)
- Erfüllung der Anforderungsliste (Kriterium B)
- Realisierung grundsätzlich möglich (Kriterium C)
- Realisierung mit vertretbarem Aufwand möglich (Kriterium D)
- Arbeitssicherheit oder Ergonomie (Kriterium E)
- Fällt in einen Bereich mit gutem Know-how bzw. Erfahrung (Kriterium F)
- Optional: Branchen-, firmen- oder projektbezogene Einflüsse (Kriterium G)

Wie der Name schon sagt, soll eine Auswahl getroffen werden. Daher erfolgt die Beurteilung nur mit gut oder schlecht. Ist eine solche Beurteilung zum aktuellen Zeitpunkt nicht möglich, kann auch ein entsprechender Vermerk eingetragen werden. Die Reihenfolge der Kriterien stellt eine Hierarchie dar, d.h. trifft für eine Lösungsmöglichkeit ein Kriterium nicht zu, so müssen die weiteren Kriterien nicht mehr betrachtet werden, siehe Abbildung 2.10.

Variante	A - Verträglichkeit gegeben	B - Forderungen der Anforderungsliste erfüllt	C - Grundsätzlich realisierbar	D - Aufwand zulässig	E - Unmittelbare Sicherheitstechnik gegeben	F - Im eigenen Bereich bevorzugt	G - Optionale Einflüsse	Bemerkungen	Wird weiterverfolgt
1	+	+	+	?					?
2	+	-							-
3	-								-
4	+	+	+	+	+	+			+

Abbildung 2.10: Beispiel einer Auswahlliste [14, S. 163]

2.5.2 Grundlagen von Bewertungsmethoden

Bewertungsmethoden können in jeder Konstruktionsphase eingesetzt werden, um Entscheidungen zwischen verschiedenen Möglichkeiten zu erleichtern und nachvollziehbar zu machen. Dabei ist wichtig, möglichst objektiv vorzugehen. Die im Folgenden dargestellten Grundlagen haben für alle Bewertungsmethoden Gültigkeit [1], [14, S. 166 ff].

Erkennen von Bewertungskriterien

Am Beginn einer jeden Bewertung steht das Erkennen relevanter Kriterien. Im technischen Bereich leiten sich die Kriterien hauptsächlich aus der Anforderungsliste ab und können neben technischen, wirtschaftlichen und sicherheitstechnischen Aspekten auch projektspezifische Gesichtspunkte enthalten. Beim Aufstellen von Bewertungskriterien sollte beachtet werden, dass entscheidungsrelevante Anforderungen und allgemeine Anforderungen möglichst vollständig erfasst werden. Weiters sollen die einzelnen Kriterien möglichst unabhängig voneinander sein³ und positiv formuliert werden. Die betrachteten Lösungsmöglichkeiten müssen hinsichtlich der Kriterien mit vertretbarem Aufwand bewertet werden können. Je nach Einsatzgebiet (Konstruktionsphase, Neuheitsgrad des Produkts, Branche) fällt die genaue Zusammenstellung der Bewertungskriterien sehr unterschiedlich aus. Um eine objektive Zusammenstellung der Bewertungskriterien zu gewährleisten, sollten in den Auswahlprozess neben der Konstruktion auch der Auftraggeber und weitere Bereiche, wie z.B. Fertigung oder Einkauf, einbezogen werden.

³Das bedeutet sie sollen weder Widersprüche beinhalten, noch doppelt berücksichtigt werden.

Untersuchen der Bedeutung für den Gesamtwert

Da nicht alle Kriterien bezüglich des Gesamtwertes gleich bedeutend sind, ist es oft sinnvoll, Gewichtungsfaktoren einzuführen. Sie erleichtern auch das Erkennen von unwesentlichen Kriterien, die gegebenenfalls weggelassen werden können.

Zusammenstellen der Eigenschaftsgrößen

Zum Bewerten der aufgestellten Kriterien werden Eigenschaftsgrößen benötigt. Diese müssen für jede betrachtete Variante ermittelt werden. Das Kriterium „Leichte Bauart“ kann z.B. je nach Problemstellung einmal mit Gesamtgewicht in *kg* oder mit Leistungsgewicht in *kW/kg* beurteilt werden. Die Überlegung, anhand welcher Kenngrößen man Kriterien beurteilt, sollte möglichst vor dem eigentlichen Bewerten erfolgen.

Beurteilen nach Wertvorstellungen

Den ermittelten Eigenschaftsgrößen wird ein Wert zugeordnet. Dieser wird durch eine Punkteskala in einem Bereich von „ideal“ bis „gerade noch ausreichend“ mit geeigneter Abstufung ausgedrückt. Zur Erleichterung der Einstufung in den gewählten Wertebereich kann für ein Bewertungskriterium nach sehr guten bzw. sehr schlechten Varianten gesucht werden und diesen dann die entsprechende Punktezahl zugewiesen werden. Die Bewertung anderer Varianten zwischen diesen Extremvarianten fällt anschließend häufig leichter als direkt Punkte zu vergeben.

Bestimmen des Gesamtwerts

Die Gesamtbeurteilung wird durch Summierung der gewichteten Einzelbeurteilungen gewonnen. Mit steigender Abhängigkeit der Bewertungskriterien untereinander, d.h. im Extremfall wird ein Kriterium mehrfach bewertet, sinkt die Aussagekraft des Gesamtwerts. Die Gesamtbeurteilungen können nun zwischen den Varianten untereinander oder bezogen auf ein theoretisch oder real existierendes Ideal verglichen werden.

Abschätzen von Beurteilungsunsicherheiten

Mögliche Fehlerquellen in der Bewertung sind einerseits die Nichtbeachtung der oben beschriebenen Grundlagen sowie die Subjektivität des Bewerter. Daher empfiehlt es sich, die Bewertung durch Gruppen mit unterschiedlichem fachlichen Hintergrund durchführen zu lassen. Weiters ist der Einfluss von Prognoseunsicherheiten, vor allem in frühen Projektphasen, zu berücksichtigen.

Suche nach Schwachstellen

Im Kontext einer Bewertungsmethode bedeutet eine Schwachstelle eine schlechte Teilbewertung trotz guter Gesamtbewertung. Wie mit Schwachstellen umgegangen wird, hängt zum einen von der jeweiligen Problemstellung und zum anderen vom Grad der Schwäche

ab. Beim Erkennen von Schwachstellen kann ein Werteprofil hilfreich sein. Abbildung 2.11 zeigt ein solches Profil, wobei die Dicke der Balken die Gewichtung repräsentiert und deren Länge die Bewertung.

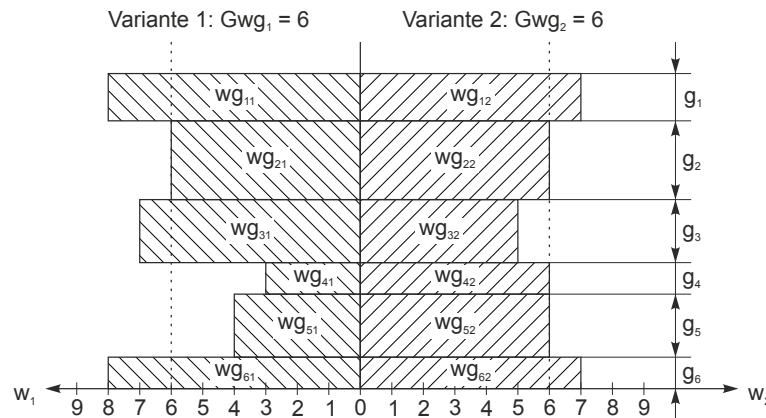


Abbildung 2.11: Werteprofil zum Vergleich zweier Varianten mit gleicher Gesamtbewertung [14, S. 181]

2.5.3 Argumentenbilanz

Ein sehr einfaches Bewertungsverfahren ist die Argumentenbilanz [1, S.22f]. Die Vor- und Nachteile der einzelnen Varianten werden in verbaler Form tabellarisch dargestellt. Tabelle 2.1 zeigt den typischen Aufbau dieser Bewertung.

Tabelle 2.1: Argumentenbilanz

Variante	Vorteile	Nachteile
Variante 1	Vorteil 1 Vorteil 2	Nachteil 1
Variante 2	Vorteil 1	Nachteil 1 Nachteil 2

Das Verfahren ist weder leistungsfähig noch transparent und sollte daher nicht für wichtige Entscheidungen verwendet werden, da die Argumente verbal und damit schlecht präzisierbar sind und die Gewichtung der Argumente untereinander nicht erkennbar ist. Weiters besteht keine Referenz mit der die Argumente verglichen werden können.

Aufgrund des geringen Bewertungsaufwandes eignet sich diese Methode, z.T. auch nur gedanklich, gut für untergeordnete Entscheidungen, wie z.B. Ausführungsvarianten zu Detailfragen. Weiters kann die Argumentenbilanz immer dann eingesetzt werden, wenn eine detailliertere Bewertung aufgrund von Informationsmangel nicht möglich ist.

2.5.4 Bewertung nach VDI-Richtlinie 2225

Die VDI-Richtlinie 2225 Blatt 3 [19] beschäftigt sich mit der „Technisch-Wirtschaftlichen Bewertung beim Entwerfen vollständiger technischer Produkte“ und bezieht sich dabei auf

die Entwurfsphase in VDI-Richtlinie 2222 Blatt 1 [16]. Mit entsprechend ausgewählten Eigenschaftsgrößen lässt sich diese Methode, vor allem der technische Teil, aber auch in den anderen Konstruktionsphasen gut einsetzen. Die Bewertungsmethode wurde unter der Leitung von Kesselring erarbeitet und gliedert sich in eine technische und eine wirtschaftliche Bewertung. Abschließend werden die beiden Teilbewertungen in einem gemeinsamen Diagramm dargestellt.

Technische Bewertung

Aus der Anforderungsliste werden Merkmale ausgewählt, anhand derer die Bewertung durchgeführt werden soll. Festforderungen⁴ werden dabei nicht berücksichtigt, da sie zwangsweise erfüllt werden müssen. In den Entwürfen werden Eigenschaften bestimmt, mit denen die Bewertungsmerkmale bewertet werden können.

Die Bewertung erfolgt laut der in Tabelle 2.2 dargestellten Werteskala. Als Bezugsgröße dient eine technische Ideallösung, die alle Bewertungsmerkmale ideal erfüllt. Die mit 1 oder 2 bewerteten Merkmale werden als Schwachstelle markiert⁵.

Tabelle 2.2: Punktebewertungsskala

Beschreibung	Punkte
sehr gut (ideal)	$p = 4$ Punkte
gut	$p = 3$ Punkte
ausreichend	$p = 2$ Punkte
gerade noch tragbar	$p = 1$ Punkt
unbefriedigend	$p = 0$ Punkte

Aus den so gewonnen Einzelbewertungen wird eine technische Wertigkeit x mit

$$x = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n}{n \cdot p_{max}} \quad (2.1)$$

berechnet. Die jeweilige Punktzahl wird mit p_j bezeichnet, n ist die Anzahl der Bewertungskriterien. p_{max} bezeichnet die maximal mögliche Punktezahl von 4. Je nach Bedeutung der einzelnen Merkmale, können Gewichtungen g_j eingeführt werden. Die gewichtete Wertigkeit x_g berechnet sich dann durch

$$x_g = \frac{g_1 p_1 + g_2 p_2 + g_3 p_3 \dots + g_n p_n}{(g_1 + g_2 + g_3 \dots + g_n) \cdot p_{max}} \quad (2.2)$$

Als Richtwert zur Interpretation der technischen Wertigkeit gelten folgende Zahlen: Werte über 0,8 sind als sehr gut, 0,7 als gut und Werte unter 0,6 sind als unbefriedigend anzusehen.

⁴Das sind Forderungen, die unter allen Umständen erfüllt werden müssen und daher keine Differenzierung zulassen.

⁵Die Bewertung 0 würde bedeuten, dass ein Punkt der Anforderungsliste nicht erfüllt wird und kommt in der ausgeführte Bewertung daher nicht vor.

Weisen bestimmte Merkmale überragende Gewichtungen auf, so werden diese nicht in die Bewertungsliste aufgenommen. Solche Forderungen werden als „Technische Forderung von besonderer Bedeutung“ neben der Liste separat angeführt.

Wirtschaftliche Bewertung

Die VDI-Richtlinie 2225 bewertet die Wirtschaftlichkeit anhand der Herstellkosten. Andere wirtschaftliche Vorteile, die sich z.B. durch einen höheren Wirkungsgrad, eine längere Lebensdauer, usw. ergeben, werden hier nicht berücksichtigt. Diese müssen falls notwendig in der technischen Bewertung erfasst werden.

Die zulässigen Herstellkosten ergeben sich aus

$$H_{zul} = \frac{P_{M,min}}{\beta}. \quad (2.3)$$

Durch eine Marktuntersuchung wird der niedrigste Marktpreis $P_{M,min}$ für das betrachtete Produkte ermittelt. Der Faktor β berücksichtigt, dass neben den Herstellkosten zusätzlich noch Entwicklungskosten, Verwaltungskosten, Gewinne, usw. den Marktpreis mitbestimmen. Nach [9, S. 7] gilt $\beta = 2$ als grober Anhaltswert, wobei sich ein genauerer Wert aus der betrieblichen Abrechnung bestimmen lässt. Um zukünftige Preisschwankungen zu berücksichtigen, sollten die idealen Herstellkosten um einen Faktor f niedriger angesetzt werden.⁶ Die Herstellkosten der einzelnen Lösungsvarianten werden nach VDI-Richtlinie 2225 Blatt 1 und 2 ermittelt. Die wirtschaftliche Wertigkeit y berechnet sich schließlich mit

$$y = \frac{f \cdot H_{zul}}{H}. \quad (2.4)$$

Eine wirtschaftliche Wertigkeit y von über 0,7 wird als gut angesehen. Ein Wert knapp unter 0,7 kann unter Umständen durch eine höhere technische Wertigkeit x aufgewogen werden.

Zusammenfassende Darstellung

Die ermittelten Wertigkeiten der verschiedenen Lösungsvarianten werden in ein Diagramm, mit der technischen Wertigkeit x als Abszisse und der wirtschaftlichen Wertigkeit y als Ordinate, eingetragen. Das Diagramm wird als s-Diagramm bezeichnet, wobei das „s“ für die Stärke der Lösung steht, siehe Abbildung 2.12.

Der Punkt s_i mit den Koordinaten $x = 1,0$ und $y = 1,0$ stellt die Ideallösung dar. Die Linie vom Koordinatenursprung zu s_i wird als Entwicklungslinie bezeichnet. Erfolgreiche Produkte sind technisch gut und weisen zugleich niedrige Herstellkosten auf. Sie liegen also in der Nähe der Entwicklungslinie. Die Stärke s einer Lösung verschiebt sich mit zunehmender Reife in Richtung Ideallösung s_i .

⁶Ein Wert von 0,7 wird in der VDI-Richtlinie 2225 empfohlen [19, S. 5].

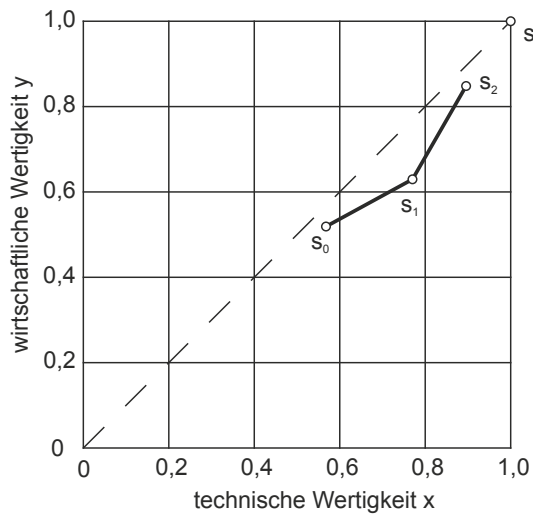


Abbildung 2.12: s-Diagramm der technisch-wirtschaftlichen Bewertung [19, S. 5]

Je nach Ausführung, schwankt der Bewertungsaufwand für dieses Verfahren zwischen mittel und hoch.

2.5.5 Bewerten mittels Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse geht auf die Arbeit [20] von Zangemeister zurück. Sie bewertet den Nutzwert eines Produktes, der hierarchisch in Form eines Zielsystems mit unterschiedlich gewichteten Einträgen gegliedert wird. Grundlage des Zielsystems ist die Anforderungsliste, siehe Abbildung 2.13 mit beispielhaften Einträgen.

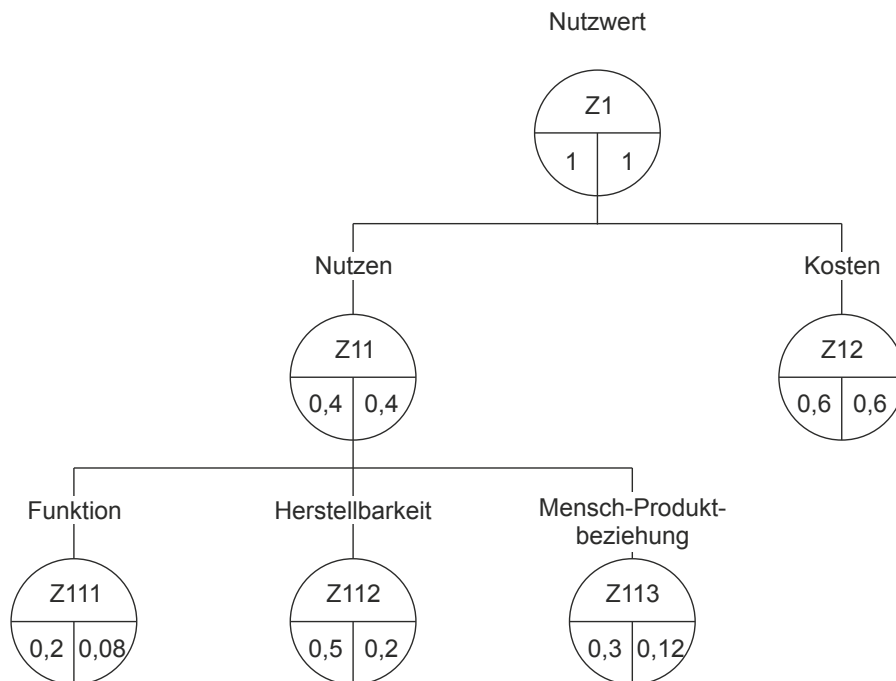


Abbildung 2.13: Zielsystem der Nutzwertanalyse [1, S. 242]

Den jeweiligen Knoten werden Gewichte zugewiesen, die je Hierarchiestufe in Summe 1 ergeben müssen. Der linke Eintrag in der unteren Knotenhälfte ist das Knotengewicht bezogen auf die darüber liegende Stufe, der rechte Eintrag ist bezogen auf den Nutzwert. Der Nutzwert stellt die Stufe 1 dar und erhält dementsprechend das Knoten- sowie das Stufengewicht 1. Die beiden Ziele „Nutzen“ und „Kosten“ werden in der Stufe 2 dargestellt. Die Knotengewichte werden jeweils stufenweise vergeben, da so immer nur eine geringe Anzahl von Teilzielen gegenüber einem höher geordneten Ziel abzuwägen ist.

Das so gefundene Bewertungsschema wird anschließend in Tabellenform gebracht und die einzelnen Varianten auf einer Werteskala von 0 für unbefriedigend bis 10 für sehr gut bewertet. Die vergebenen Punkte werden mit der Gewichtung multipliziert und ergeben somit die Wertigkeit. Der Gesamtwert einer Variante ergibt sich schließlich als Summe der Teilwertigkeiten.

Anschließend erfolgt die Suche nach Schwachstellen durch Aufstellung und Analyse von Nutzwertprofilen, vgl. Abbildung 2.11.

3 Konzeptentwicklung

Das Vorgehen zur Bewältigung der Aufgabenstellung orientiert sich an dem in Abschnitt 2.3 dargestellten Vorgehensmodell, wobei der Detaillierungsgrad an die vorliegenden Anforderungen angepasst ist. Die Konzeptphase wird mit großer Sorgfalt bearbeitet, um eine gute Übersicht über die Aufgabenstellung mit ihren Schwierigkeiten zu erhalten.

3.1 Klärung der Aufgabenstellung

Zur Herstellung einer fertigen Verpackungseinheit ist eine Reihe verschiedener Arbeitsschritte notwendig. Diese lassen sich grob in die Bereiche Vorbereitung der Forstnerbohrer, Vorbereitung der Blisterverpackungen und Gesamtverpackung einteilen.

Der typische Arbeitsablauf kann wie folgt beschrieben werden: Das Einlegeblatt wird in den offenen Blister gelegt. Anschließend wird das AM-Etikett auf die vorgesehene Position auf dem Einlegeblatt geklebt. Damit ist der Bereich Vorbereitung der Blisterverpackung abgeschlossen. Zur Vorbereitung des Forstnerbohrers wird ein Bohrer mit einem Beschriftungslaser am Schaft signiert. Dieser wird dann in die vorbereitete Verpackung eingelegt, woraufhin der Blister geschlossen wird. Abgeschlossen wird der Verpackungsprozess durch das Verschweißen des Blisters mittels Ultraschallschweißverfahren.

Die Hauptabmessungen der verwendeten Blister sind für alle Bohrer Durchmesser gleich. Die einzigen Unterschiede bestehen in der Größe der Einlegemulde, welche in drei Abstufungen ausgeführt ist, und in der Position des AM-Etiketts. Bei den beiden kleinen Größen befindet es sich an der in Abbildung 1.2a gezeigten Position, für die größte Variante ist das Etikett nach außen an den Rand verschoben.

Als Zusatzfunktion wird das Rausdrücken der vorgestanzten Euroaufhänger vorgegeben, welche allerdings nur bei geringem Zusatzaufwand berücksichtigt wird.

Anforderungsliste

Von der Fa. Eberhard werden zwei grundlegende Forderungen an die Verpackungsmaschine gestellt. Einerseits ist dies eine hohe Prozesssicherheit und andererseits sind das minimale Gesamtkosten. Diese beiden Forderungen werden durch die grundlegenden Anforderungen berücksichtigt. Weitere betriebliche Vorgaben und Randbedingungen werden als technisch-spezifische Anforderungen erfasst. Auf Wünsche wird in der Anforderungsliste bewusst verzichtet, um die Gesamtkosten so gering wie möglich zu halten.

Grundlegende Anforderungen

- Betriebs- und Prozesssicherheit
- Unkomplizierte Konstruktion
- Geringer Steuerungsaufwand
- Einfache Montage
- Geringe Gesamtkosten – Kostengrenze 100.000 €
- Wartungsarmut und Wartungsfreundlichkeit

Technisch-spezifische Anforderungen

- Zu verpackende Bohrerdurchmesser: 6 – 54 mm
- Stückzahl der zu verpackenden Bohrer: 1150 / Tag
- Taktzeit zur Fertigstellung einer Verpackungseinheit: ≤ 15 s
- Maximale Hauptabmessungen der gesamten Maschine: 6000 mm \times 3700 mm
- Bohrerbeschriftung ist in der fertigen Verpackung an der Vorderseite sichtbar
- Vollautomatisierung – es ist kein menschlicher Eingriff in den Prozess nötig
- Einfaches Umrüsten der Maschinen beim Wechsel von Bohrergrößen
- Bohrer werden der Verpackungsmaschine auf Paletten übergeben
- Weiterverwendung der bestehenden Ultraschallschweißanlage mit neuen Schweißhörnern
- Handarbeitsplatz, bei dem nur die Funktionen Signieren, Schließen, Schweißen und Auswerfen genutzt werden, einplanen
- Erweiterungsmöglichkeit des Befüllens von Versandkartons mit den fertig verpackten Bohrern vorsehen
- Einfache Nachfüllmöglichkeiten der verschiedenen Magazine
- Betriebsstopp der Maschine, bei nicht korrektem Einlegen der einzelnen Verpackungskomponenten, vor dem Schließen des Blisters
- Betriebsstopp, wenn ein Magazin leer wird
- Fertigungsaufwand gering halten – Fertigungsmöglichkeiten der Fa. Eberhard berücksichtigen

3.2 Ablauf der Verpackungsschritte und Aufteilung in Teilfunktionen

Der gesamte Arbeitsablauf aus Abschnitt 3.1 ist in Abbildung 3.1 übersichtlich dargestellt. Die Rechtecke stellen Zustände dar, Ellipsen sind Tätigkeiten und Rauten repräsentieren Entscheidungen. In strichlierten Blöcken sind die einzelnen Abläufe zu Funktionseinheiten (FE) zusammengefasst und benannt. Dabei ist berücksichtigt, dass die Funktionseinheiten parallel ausgeführt werden können, um die geforderte Taktzeit zu erreichen. Die parallele Struktur ermöglicht außerdem eine getrennte Montage der entstehenden Baugruppen und auch einen separaten Testbetrieb.

Zusätzlich wird noch ein Beförderungssystem benötigt, das die Blister von einer Funktionseinheit zur nächsten befördert. Zur besseren Übersicht ist diese Funktionseinheit in Abbildung 3.1 nicht eingezeichnet, sondern nur durch den Zustand „Blister in Werkstückträger“ in der Funktionseinheit „Blister“ angedeutet.

Beschreibung der Funktionseinheiten

Die Einheit „Blister“ umfasst ein Magazin mit Blistern, von welchem ein einzelner Blister entnommen und in einen Werkstückträger des Beförderungssystems eingelegt wird. Die Einheit „Euroaufhänger“ drückt die vorgestanzten Ausnehmungen aus dem Blister heraus. Die Entnahme eines einzelnen Einlegeblattes und das Einlegen des Blattes in den Blister übernimmt die Einheit „Einlegeblatt“. Die Funktionseinheit „Etikett“ löst ein einzelnes Etikett von der Trägerfolie und klebt es auf das Einlegeblatt. In der Einheit „Palette“ werden mehrere Paletten gespeichert und einzeln zur Abarbeitung zur Verfügung gestellt. Die Funktionseinheit „Forstnerbohrer“ entnimmt einen einzelnen Bohrer aus einer Palette, signiert ihn und legt den Bohrer in die vorbereitete Verpackung ein. In der „Kontrolleinheit“ wird das korrekte Einlegen der einzelnen Komponenten überprüft. Bei Einlegefehlern wird der automatische Verpackungsvorgang gestoppt. Die Einheiten „Schließen“, „Schweißen“ und „Auswurf“ übernehmen die Funktionen Schließen des Blisters, Verschweißen des Blisters und Auswerfen der fertigen Verpackungseinheit in eine Sammelbox.

3.3 Lösungsfindung und Bewertung der Lösungsmöglichkeiten

Für die verschiedenen Funktionseinheiten wird einzeln nach Lösungsmöglichkeiten gesucht. Diese werden nach dem in Abschnitt 3.3.1 eingeführten Schema bewertet. Zur besseren Übersicht werden in diesem Abschnitt die Lösungssuche und die Bewertung, nach Funktionseinheiten gegliedert, dargestellt.

Die Lösungssuche beginnt damit, mittels Kollektionsverfahren und Analogiebetrachtungen einen Überblick über bekannte und bewährte Komponenten zu erhalten, die in dieser Maschine zum Einsatz kommen können. Dazu werden die eingeführten Funktionseinheiten

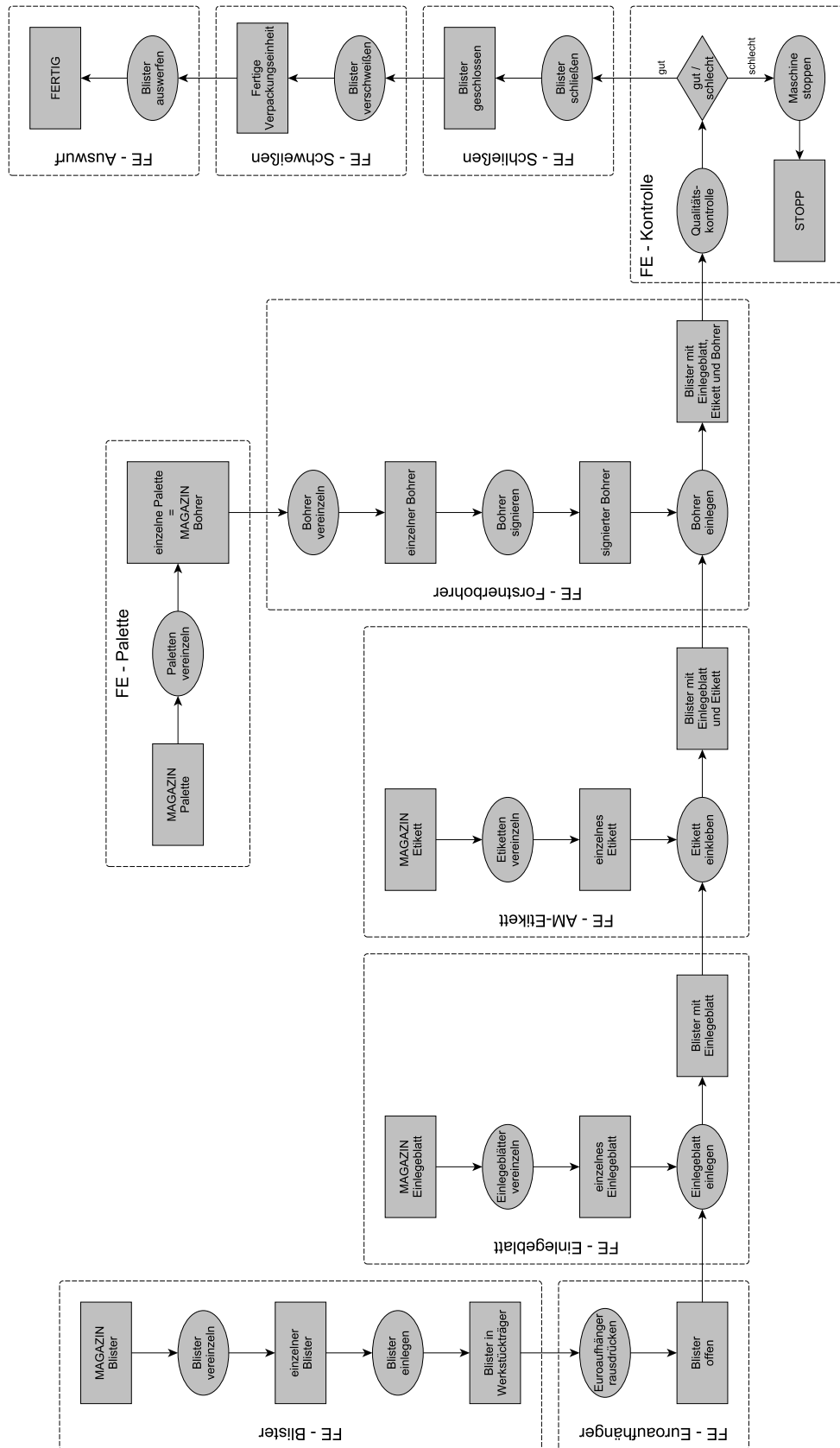


Abbildung 3.1: Ablaufdiagramm der Verpackungsmaschine mit eingezeichneten Funktionseinheiten

ten weiter zerlegt und abstrahiert. In einem diskursiven Vorgehen werden Lösungsfelder eingeführt und anschließend wird intuitiv nach Lösungsmöglichkeiten gesucht. Um den Umfang dieser Arbeit nicht zu sprengen, wird auf eine weitere Darstellung dieser Prozesse verzichtet.

3.3.1 Verwendetes Bewertungsschema

Für die Bewertung der einzelnen Lösungsvarianten der verschiedenen Funktionseinheiten wird ein Verfahren in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2225 gewählt. Der technische Teil der Bewertung bildet den Abschluss der Konzeptphase. Die wirtschaftliche Bewertung für das weiterverfolgte Gesamtkonzept wird in der Entwurfsphase in Abschnitt 4.2 behandelt.

Tabelle 3.1 zeigt die gewählten Bewertungskriterien mit den zugehörigen Gewichten. Die Kriterien mit den Nummern 1–3 erfassen die zu erwartenden Kosten. Kriterium 4 berücksichtigt die Prozesssicherheit. Der Platzbedarf der gesamten Maschine wird mit Kriterium 5 bewertet. Die Kriterien 6 und 7 erfassen den Bestückungsaufwand, während Kriterium 8 den Arbeitsaufwand beim Größenwechsel bewertet. In der unteren Zeile sind die verwendeten Zusatzsymbole erklärt. Die Werteskala wird, wie in Tabelle 2.2 dargestellt, von 0–4 gewählt. Je nach Anwendbarkeit kommen nicht alle Bewertungskriterien bei jeder Funktionseinheit zur Verwendung.

Tabelle 3.1: Verwendetes Bewertungsschema

Nr.	Kriterium	Gewichtung
1	Unkomplizierte Konstruktion	1
2	Geringer Fertigungsaufwand	1
3	Geringer Steuerungsaufwand	0,7
4	Einfache Montage und Inbetriebnahme	0,5
5	Geringe Hauptabmessungen	0,5
6	Einfaches Nachfüllen des Magazins	1
7	Magazingröße	0,5
8	Einfaches Umrüsten beim Größenwechsel	0,5
k ... Hohe Kosten / ? ... Realisierungsmöglichkeit unsicher ↑ ... Tendenz nach oben / ↓ ... Tendenz nach unten		

3.3.2 Funktionseinheit Palette

Die Forstnerbohrer verlassen den Produktionsprozess auf den in Abbildung 3.2 gezeigten Paletten. Abhängig von der Bohrergröße finden 30 bzw. 50 Stück auf einer Palette Platz. Zum Transport innerhalb der Produktionshalle werden Transportwagen eingesetzt, die neun Paletten fassen, das sind 270 bzw. 450 Bohrer pro Wagen. Der Inhalt eines Transportwagens dient als erster Ansatz für die notwendige Größe des Palettenmagazins. Bei einer Taktzeit von 15 s ergibt das eine Abarbeitungszeit von 7,5 min bzw. 12,5 min pro Palette und 67,5 min bzw. 112,5 min pro Transportwagen. Eine Stückzahl von 1150 Bohrern pro Tag ergibt 4,26 bzw. 2,56 Wagen, die pro Tag abzuarbeiten sind.



Abbildung 3.2: Palette mit Forstnerbohrern

Folgende Konzepte werden einer weiteren Bewertung unterzogen:

Variante 1 – Industrieroboter: Ein Industrieroboter, der im weiteren Verpackungsprozess auch andere Aufgaben übernimmt, wird mit einem Greiferwechselsystem ausgestattet. Aus den bereits vorhandenen Transportwägen werden mehrere Paletten herausgenommen und zur Abarbeitung abgelegt. Die genaue Anzahl hängt vom Arbeitsbereich des eingesetzten Roboters ab. Anschließend erfolgt der Greiferwechsel, um andere Abläufe ausführen zu können. Nach der Abarbeitung der Paletten werden diese wieder in den Transportwagen eingeschoben und die nächsten vollen Paletten werden herausgeholt.

Variante 2 – Rollenbahn: Die vollen Paletten werden manuell auf den oberen Teil einer schrägen Rollenbahn gelegt. Eine Vereinzelung stoppt die Paletten in der Mitte und lässt sie nach der Abarbeitung in den unteren Teil der Rollenbahn weiterrollen. Um die Gesamtlänge der Rollenbahn zu reduzieren, kann im unteren Bereich ein Stapelmechanismus vorgesehen werden.

Variante 3 – Spezialkonstruktion: Es kommt ein eigens konstruiertes Handhabungsgerät zum Einsatz. Die beiden Varianten „Spindelhubsystem mit Schwenkeinheit“ und „Paternosteraufzug“ werden für die spätere Bewertung herangezogen. Charakterisierend für beide Varianten ist ein vertikal gestapeltes Magazin, aus dem mit einer geeigneten Mechanik jeweils eine Palette zur Abarbeitung bereitgestellt wird.

Tabelle 3.2 zeigt das Ergebnis der durchgeführten Bewertung der Funktionseinheit Palette. Die aus technischer Sicht beste Variante scheidet aufgrund der hohen Kosten für einen ausreichend großen Industrieroboter aus. Daher wird „Variante 2 – Rollenbahn“ weiter verfolgt.

Tabelle 3.2: Bewertung Funktionseinheit Palette

		Variante 1			Variante 2			Variante 3		
Nr.	Gew.	W	W _G		W	W _G		W	W _G	
1	1	3	3		3	3		1	1	
2	1	3	3		3	3		2	2	
3	0,7	1	0,7		4	2,8		3	2,1	↓
4	0,5	4	2		3	1,5		2	1	
5	0,5	2	1	↑	1	0,5		4	2	
6	1	4	4	↓	2	2	↑	4	4	
7	0,5	4	2		3	1,5		4	2	
Summe		21	15,7	k	19	14,3		20	14,1	
Max. $\Sigma = 28, \Sigma_G = 20,8$										

3.3.3 Funktionseinheit Forstnerbohrer

Dieser Abschnitt behandelt die Abläufe der Entnahme eines Bohrers aus einer Palette, des Signierens des Schafts, des Einlegens in die vorbereitete Blisterverpackung sowie der Handhabung des Bohrers zwischen diesen Stationen. Durch die hohe Beeinflussung der Funktionen untereinander erscheint eine getrennte Betrachtung nicht zweckmäßig.

Entnahme eines Bohrers aus einer Palette

Zum Greifen der Bohrer auf der Palette ist in der Fa. Eberhard bereits ein Greifersystem, mit an die jeweilige Bohrergröße angepassten Wechselbacken, in Verwendung. Da sich dieses gut bewährt hat, wird es auch für die Verwendung in der Verpackungsmaschine vorgesehen.

Signieren des Bohrschafts

Zum dauerhaften Signieren des Schafts mit Produktinformationen soll ein Beschriftungslaser verwendet werden. Zu klären bleibt an dieser Stelle, ob zur Einhaltung der Laserschutzklassen der Arbeitsraum vollständig geschlossen werden muss oder mit Blenden ausreichend abgeschirmt werden kann. Ein Signieren des bereits eingelegten Bohrers in der noch geöffneten Verpackung ist nicht möglich, da die Position des Bohrers dort zu ungenau ist. Aus diesem Grund wird nach verschiedenen Positioniermöglichkeiten zum Lasersignieren gesucht.

Für das automatische Positionieren der Bohrer unter dem Laser werden folgende Konzepte ins Auge gefasst:

Variante 1 – Rundtaktisch: Es wird ein kleiner Rundtaktisch mit zwei oder drei Positionen verwendet. Aufbauten können für die Abschirmung verwendet werden.

Variante 2 – Förderband: Die unsignierten Bohrer werden auf ein Transportband mit geeigneten Werkstückträgern gelegt. Dies kann mit Hilfe eines Handhabungsgeräts oder manuell erfolgen, wobei beim manuellen Einlegen auf das Palettenmagazin verzichtet werden kann.

Variante 3 – Industrieroboter: Die Forstnerbohrer werden zum Signieren nicht in einem Werkstückträger abgelegt, sondern direkt von einem Industrieroboter in Position gehalten.

Variante 4 – Sonderkonstruktion: Hier wird eine automatische Tür mit einem Werkstückträger für zwei Bohrer kombiniert. Eine Ablage ist dabei für den unsignierten Bohrer bestimmt, während auf der anderen Position der bereits signierte Bohrer liegt.

Tabelle 3.3 zeigt die Bewertung der Positioniermöglichkeiten des Bohrers beim Lasersignieren. Als beste Variante tritt „Variante 3 – Industrieroboter“ hervor, wobei zu klären bleibt, ob die geforderte Taktzeit eingehalten werden kann. Die Varianten 1 und 2 werden aufgrund der zu erwartenden Kosten nicht weiter in Betracht gezogen.

Tabelle 3.3: Bewertung Positioniermöglichkeiten beim Lasersignieren

Nr.	Gew.	Variante 1			Variante 2			Variante 3			Variante 4		
		W	W _G		W	W _G		W	W _G		W	W _G	
1	1	4	4	↓	4	4		4	4		2	2	
2	1	4	4	↓	4	4		4	4		3	3	
3	0,7	4	2,8	↓	3	2,1	↑	2	1,4		2	1,4	↑
4	0,5	3	1,5		4	2		2	1		2	1	↓
5	0,5	4	2		3	1,5		4	2		4	2	
Summe		19	14,3	k	18	13,6	k	16	12,4	?	13	9,4	
Max. $\Sigma = 20, \Sigma_G = 14,8$													

Einlegen in die Blisterverpackung

Die Forstnerbohrer können, solange sie sich auf der Palette befinden, nur am Bohrerkopf gegriffen werden, vgl. Abbildung 3.2. Zum Einlegen in die halbrunde Mulde des Blisters, vgl. Abbildung 1.2a, muss daher umgegriffen werden. Ein konventioneller Greifer kommt dafür nicht in Frage, da dieser den Bohrer seitlich am Schaftumfang greifen würde. Daher wird für diese Aufgabe ein Magnetgreifer mit v-förmiger Aufnahme vorgesehen. Abbildung 3.3 zeigt eine Prinzipskizze des Magnetgreifers.

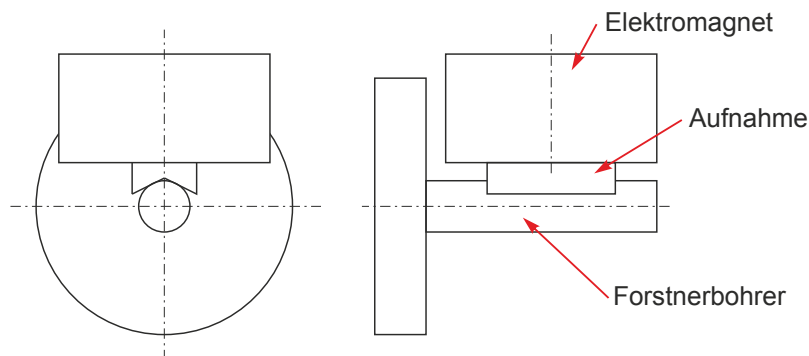


Abbildung 3.3: Prinzipskizze des Magnetgreifers

Handhabung des Bohrers

Für den Weg des Forstnerbohrers von der Palette in die Verpackung ergeben sich folgende Arbeitsschritte:

1. Positionieren über dem Bohrer, je nach Ausführung des Palettenmagazins können die Paletten gerade oder leicht geneigt sein
2. Greifen des Bohrers
3. Herausziehen des Bohrers
4. Drehen des Bohrers in Signierorientierung
5. Drehen des Bohrers, sodass die Beschriftung in der Verpackung sichtbar ist
6. Übergabe an den Magnetgreifer

Für die Bewältigung dieses komplexen Bewegungsablaufes ist ein Handhabungsgerät mit mehreren Achsen notwendig. Da die Fa. Eberhard ein günstiges Angebot für einen geeigneten Industrieroboter bekam, wird auf eine weitere Untersuchung in Richtung aufwändiger Eigenkonstruktion verzichtet. Zu klären bleibt, ob der Roboter alle Arbeitsabläufe in der geforderten Taktzeit bewältigen kann.

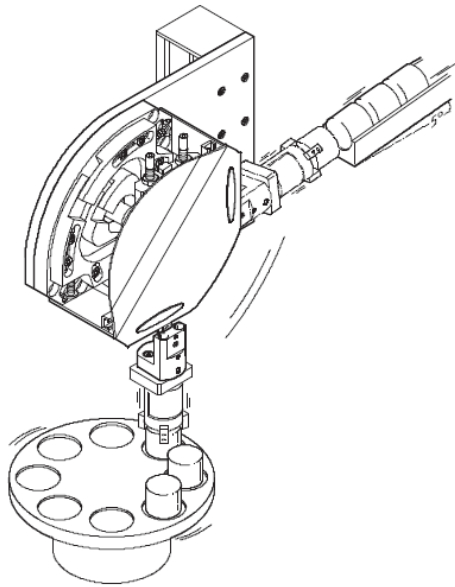
3.3.4 Funktionseinheit Blister

Die Blister haben eine Stapelhöhe von 5 mm. 1150 Bohrer die pro Tag verpackt werden, ergeben eine Gesamthöhe von 5,75 m Blister, die abgearbeitet werden muss. Als Richtwert für die Frequenz des Nachfüllens des Magazins gilt: 1 m Blister wird bei einer Taktzeit von 15 s in 50 min abgearbeitet. Das Greifen der Blister, soweit es notwendig ist, erfolgt bei allen aufgelisteten Konzepten mit Vakuumsaugern.

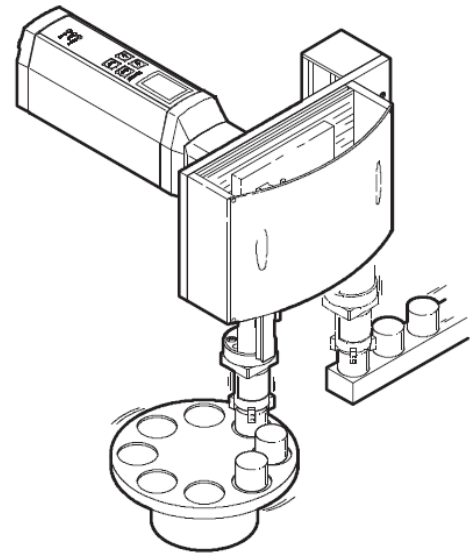
Variante 1 – Waagrechtes Magazin: Die Kunststoffteile werden in einem horizontalen Magazin beliebiger Länge gelagert. Eine Linearachse übernimmt das Nachschieben der Teile im Magazin. Vor dem Einlegen in die Verpackungsmaschine müssen die Teile um 90° gedreht werden, vgl. Abbildung 3.4a. Ein Umkippen der Blister an der Entnahmestelle muss durch eine geeignete Maßnahme verhindert werden.

Variante 2 – Senkrechtes Magazin, Entnahme von oben: Die Blister werden in einem mehrteiligen Magazin mit begrenzter Länge gelagert. Eine Linearachse hält den Blisterstapel dabei auf einem konstanten Entnahmeniveau. Das Einlegen in den Werkstückträger erfolgt mit einer Pick & Place-Einheit, vgl. Abbildung 3.4b.

Variante 3 – Senkrechtes Magazin, Entnahme von unten: Die Kunststoffteile werden in einem vertikalen Magazin beliebiger Höhe gelagert. Das manuelle Nachfüllen stellt dabei eine Höhenbegrenzung dar. An der Unterseite des Magazins befindet sich eine Vereinzelung, die jeweils einen Blister freigibt. Diese fallen dann frei in den Werkstückträger. Sollte sich die Fallstrecke im weiteren Konstruktionsverlauf als zu lang erweisen, werden die Blister von einer Hubeinheit kontrolliert abgesenkt.



(a) FESTO Handlingmodule HSW [3]



(b) FESTO Handlingmodule HSP, Pick & Place-Modul [2]

Abbildung 3.4: Handlingmodule

Tabelle 3.4 zeigt die Bewertung der verschiedenen Ausführungsvarianten des Blistermagazins. „Variante 2 – Senkrechtes Magazin, Entnahme von oben“ wird dabei am besten bewertet.

Tabelle 3.4: Bewertung Funktionseinheit Blister

Nr.	Gew.	Variante 1			Variante 2			Variante 3		
		W	W _G		W	W _G		W	W _G	
1	1	3	3	↓	2	2	↑	2	2	
2	1	3	3		2	2	↑	2	2	↑
3	0,7	3	2,1		3	2,1	↓	4	2,8	
4	0,5	3	1,5	↑	3	1,5		3	1,5	↑
6	1	2	2		4	4		4	4	↓
7	0,5	4	2		4	2		3	1,5	↓
Summe		18	13,6		18	13,6		18	13,8	?
Max. $\Sigma = 24, \Sigma_G = 18,8$										

3.3.5 Funktionseinheit Euroaufhänger

Da die vorgestanzten Euroaufhänger der beiden Blisterhälften unterschiedlich groß sind, siehe Abbildung 1.2a, und nach dem Schließen die größere Ausnehmung an der Oberseite ist, funktioniert ein gemeinsames Rausdrücken nur Richtung oben. Ohne Absaugung würden die Plättchen dabei unkontrolliert herumfliegen und damit den Verpackungsvorgang stören. Daher wird ein Konzept mit getrenntem Rausdrücken Richtung unten weiterverfolgt. Die nachfolgende Aufzählung charakterisiert dieses Konzept:

- Das Rausdrücken wird bei offenem Blister durch zwei getrennte Stempel übernommen.
- An der Unterseite befindet sich je ein Gegenstempel mit Spitze, der dafür sorgt, dass die Plättchen nicht einseitig hängen bleiben und vollständig herausgebrochen werden.
- Der Blister wird während des Stempelns fixiert, um ein unkontrolliertes Springen zu verhindern.
- Der Abfall fällt frei nach unten und wird von einem großzügigen Behälter aufgefangen.

3.3.6 Funktionseinheit Einlegeblatt

Aufgrund der Faltung der Einlegeblätter wird ein Stapel Einlegeblätter mit zunehmender Größe immer schräger und begrenzt somit die maximal mögliche Stapelhöhe, siehe Abbildung 3.5. Eine Änderung des Layouts der Einlegeblätter zur Vermeidung dieser Schrägstellung wurde von der Fa. Eberhard aus betrieblichen Gründen abgelehnt. Die pro Tag benötigte Menge an Einlegeblättern hat an der Knickstelle eine theoretische Höhe von 1150 mm. Das Greifen der Blätter erfolgt bei allen nachfolgend aufgelisteten Konzepten, sofern notwendig, mittels Vakuumsaugern.



Abbildung 3.5: Einlegeblattstapel

Variante 1 – Vertikales Magazin, mehrere Stapel: Mehrere kleinere Stapel Einlegeblätter werden mit einem fixen Höhenausgleich nebeneinander angeordnet. Das Magazin ist verschiebbar und die Stapel werden nacheinander mit einer Pick & Place-Einheit eingelegt.

Variante 2 – Vertikales Magazin, Walzen: Das unterste Blatt des Stapels wird durch angetriebene Walzen aus dem Magazin gezogen. Gegenläufige Walzen an der Blattoberseite verhindern das ungewollte Herausziehen mehrerer Blätter. Von hier aus werden die Einlegeblätter entweder mittels einer Pick & Place-Einheit oder von weiteren Walzen in die Blister befördert. Die Faltung der Einlegeblätter wirkt sich hier weniger störend aus.

Variante 3 – Vertikales Magazin, Drehgreifer: Das unterste Blatt wird von einem Vakuumgreifer aus dem Magazin gezogen. Abstreifer verhindern, dass mehrere Blätter herausgezogen werden. Anschließend dreht sich der Greifer um 180° und legt das Einlegeblatt im Blister ab. Die Faltung der Einlegeblätter wirkt sich hier ebenfalls weniger störend aus.

Variante 4 – Horizontales Magazin: Die Einlegeblätter werden mit der Bohrschaft-Ausnehmung auf einer horizontalen Stange mit rechteckigem Querschnitt aufgehängt. Das vordere Ende der Stange muss zur Entnahme der Blätter frei bleiben. Das vorderste Blatt wird von einem Vakuumgreifer entnommen, um 90° gedreht und im Blister abgelegt. Ein Vorschub hält das jeweilige vordere Blatt auf konstanter Position und ein Abstreifer verhindert das unbeabsichtigte Mitnehmen mehrerer Blätter.

Variante 5 – Schräges Magazin: Dieses Konzept basiert auf dem horizontalen Magazin. Die Schwerkraft übernimmt hier die Funktion des mechanischen Vorschubes. Am freien Ende sorgt ein Stopper dafür dass die Blätter nicht von der Stange rutschen. Das Handlingmodul muss zusätzlich in der Lage sein das vorderste Blatt über den Stopper zu heben.

Tabelle 3.5 zeigt die Bewertung der verschiedenen Ausführungsvarianten der Funktionseinheit Einlegeblatt. Am besten wird dabei „Variante 1 – Vertikales Magazin, mehrere Stapel“ bewertet.

Tabelle 3.5: Bewertung Funktionseinheit Einlegeblatt

		Variante 1			Variante 2			Variante 3			Variante 4			Variante 5		
Nr.	Gew.	W	W _G		W	W _G		W	W _G		W	W _G		W	W _G	
1	1	3	3		2	2		2	2	↓	3	3		3	3	
2	1	3	3		3	3		3	3		3	3		3	3	↑
3	0,7	3	2,1		3	2,1	↑	3	2,1	↑	2	1,4	↑	4	2,8	
4	0,5	3	1,5		2	1	↓	3	1,5		3	1,5	↓	3	1,5	
5	1	4	4		4	4		4	4		3	3		2	2	
6	0,5	3	1,5	↑	2	1	?	2	1	?	4	2		3	1,5	
Summe		19	15,1		16	13,1		17	13,6		18	13,9		18	13,8	?
Max. $\Sigma = 24, \Sigma_G = 18,8$																

3.3.7 Funktionseinheit AM-Etikett

Die AM-Etiketten sind einreihig auf einer Trägerfolie aufgeklebt und werden als Rolle zu je 1700 Stück angeliefert. Das Einkleben auf das Einlegeblatt erfolgt bei allen Konzepten mit einer Pick & Place-Einheit und einem Vakuumsauger. Der Antrieb für das Abrollen der Rolle ist ebenfalls einheitlich und erfolgt reibschlüssig mit einer Antriebsrolle und einer beweglich gelagerten Anpressrolle. Die Unterschiede der einzelnen Konzepte beziehen sich auf die Bereitstellung eines einzelnen entnehmbaren Etiketts.

Variante 1 – Gerade Kante mit Ablage: Die Etiketten werden durch eine 90° Umlenkung an einer Kante von der Folie gelöst und bleiben anschließend auf zwei schmalen Führungen an der Entnahmeposition liegen. Diese Variante entspricht dem bestehenden System. Durch geeignete Konstruktionsänderungen müssen die derzeitigen Probleme vermieden werden.

Variante 2 – Gerade Kante mit bewegtem Greifer: Die Etiketten werden durch eine 90° Umlenkung an einer Kante von der Folie gelöst. Kurz bevor die Etiketten die Umlenkung erreichen, setzt der Vakuumsauger auf ihnen auf und fährt den restlichen Weg bis nach der Umlenkung mit. Die Etiketten hängen nun frei am Sauger und können in die Verpackung eingeklebt werden.

Variante 3 – Schräge Kante: Bei dieser Variante wird die Folie durch eine Kante, die zur Abziehrichtung ca. 45° geneigt ist, umgelenkt. Dadurch lösen sich die Etiketten allmählich von der Folie. Ist das Etikett ungefähr zur Hälfte von der Folie gelöst, setzt ein starker Vakuumsauger auf und hebt es ab.

Tabelle 3.6 zeigt die durchgeführte Bewertung. Am besten schneidet dabei „Variant 3 – Schräge Kante“ ab.

Tabelle 3.6: Bewertung der Vereinzelungsmöglichkeiten für die AM-Etiketten

		Variante 1			Variante 2			Variante 3		
Nr.	Gew.	W	W _G		W	W _G		W	W _G	
1	1	3	3		1	1		3	3	↑
2	1	3	3		1	1		3	3	
3	0,7	4	2,8		3	2,1		4	2,8	
4	0,5	3	1,5		2	1		3	1,5	
5	1	4	4		4	4		4	4	
Summe		17	14,3	?	11	9,1		17	14,3	
$\Sigma = 20, \Sigma_G = 16,8$										

3.3.8 Funktionseinheit Kontrolle

An dieser Stelle wird von einem Kamerasystem das korrekte Einlegen des Blisters in den Werkstückträger, des Einlegeblattes in den Blister, des AM-Etiketts auf das Einlegeblatt und des Forstnerbohrers in die vorbereitete Verpackung überprüft. Das angedachte Kamerasystem ist bereits in einer anderen Maschine der Fa. Eberhard in Verwendung und hat sich dort gut bewährt. Daher wird es auch für die Verwendung in der Verpackungsmaschine vorgesehen.

Soll in einer späteren Erweiterung das ordnungsgemäße Schließen und Verschweißen der Verpackung ebenfalls überprüft werden, so kann dies durch die Verwendung eines zweiten Kamerasystems, das über dem Auswurf positioniert ist, erreicht werden. Die Kontrolle des Inhalts bei bereits geschlossenem Blister ließ aufgrund von Reflexionen am Kunststoff kein prozesssicheres Verhalten erwarten.

3.3.9 Funktionseinheit Schließen

Diese Einheit übernimmt das Schließen der Blisterverpackung. Da das Beförderungssystem zu diesem Zeitpunkt noch nicht fixiert ist, werden die Konzepte nur grob formuliert. Die getroffene Auswahl muss daher in der Entwurfsphase noch einmal überprüft werden.

Variante 1 – Von unten kommender Bügel: Eine Hälfte des Blisters wird im Werkstückträger fixiert. Die genaue Ausführung der Fixierung muss zu einem späteren Zeitpunkt geklärt werden. Ein von unten kommender halbmondförmiger Bügel führt eine Drehbewegung aus und schließt mit einem geeigneten Mitnehmer den Blister.

Variante 2 – Adaption des bestehenden Systems: Bei dieser Variante wird das in der bestehenden Verpackungsmaschine verwendete System durch den Einsatz von zusätzlichen Führungen soweit verbessert, dass ein prozesssicherer Betrieb möglich ist.

Variante 3 – Geteilter Werkstückträger mit Drehgelenk: Hier kommt ein zweigeteilter Werkstückträger zum Einsatz. Dieser bietet eine definierte Aufnahme für die beiden Blisterhälften, die über ein Drehgelenk miteinander verbunden sind. Das genaue Antriebskonzept wird nach der weiteren Detaillierung ausgewählt.

Tabelle 3.7 zeigt das Ergebnis der Bewertung der verschiedenen Schließvarianten. Da eine prozesssichere Realisierung der Variante 1 fraglich erscheint, wird „Variante 3 – Geteilter Werkstückträger mit Drehgelenk“ weiterverfolgt.

Tabelle 3.7: Bewertung Funktionseinheit Schließen

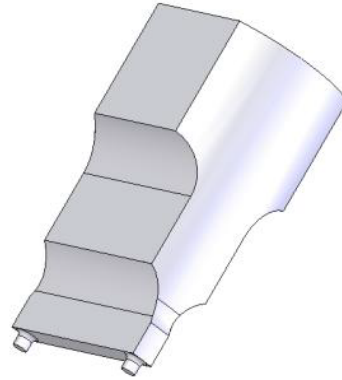
		Variante 1			Variante 2			Variante 3		
Nr.	Gew.	W	W _G		W	W _G		W	W _G	
1	1	4	4		3	3	↑	3	3	↓
2	1	4	4		1	1		3	3	
3	0,7	3	2,1		4	2,8		3	2,1	
4	0,5	3	1,5		4	2	↑	2	1	↑
Summe		14	11,6	?	12	8,8		11	9,1	
Max. $\Sigma = 16, \Sigma_G = 12,8$										

3.3.10 Funktionseinheit Schweißen

Das Verschweißen der Verpackungen erfolgt mit einem Ultraschallschweißverfahren. Die dafür benötigten Ultraschallkonverter sind vorhanden und werden weiterverwendet. Die bisher verwendeten Schweißhörner lieferten keine zufriedenstellenden Ergebnisse und werden daher durch neue ersetzt, siehe Abbildung 3.6a. Der Entwurf der neuen Schweißhörner, siehe Abbildung 3.6b, wird von einer Fremdfirma durchgeführt. Die nun kleineren Schweißflächen sind optisch ansprechender und gewährleisten ein sicheres Durchschweißen des Kunststoffes. Die Hubbewegung der Ultraschallkonverter wird, wie in der bestehenden Verpackungsmaschine, von einem Führungszylinder ausgeführt.



(a) Bestehendes Horn



(b) Schweißhorn mit punktförmigen Schweißflächen

Abbildung 3.6: Gegenüberstellung altes und neues Schweißhorn

3.3.11 Funktionseinheit Auswurf

Die bestehende Ausführung liefert zufriedenstellende Ergebnisse und wird daher in leicht angepasster Form weiter verwendet, vgl. Abschnitt 1.2. Zur besseren Kontrolle der Wurf- richtung werden zwei Stökel verwendet. Eine Luftdüse wird vorerst nicht vorgesehen und kann bei Bedarf während der Inbetriebnahme leicht nachgerüstet werden.

3.3.12 Beförderungssystem der Blister zwischen den Funktionseinheiten

Da die Ausführung der vorangegangenen Teilfunktionen Auswirkung auf die Anforderungen an das Beförderungssystem hat, wird diese Teilfunktion als letzte behandelt. Folgende Einheiten müssen dabei bedient werden:

1. Blister einlegen
2. Euroaufhänger rausdrücken
3. Einlegeblatt einlegen
4. AM-Etikett einkleben
5. Manueller Arbeitsplatz
6. Forstnerbohrer einlegen
7. Kontrolle auf korrektes Einlegen aller Komponenten
8. Blister schließen
9. Blister verschweißen
10. Blister auswerfen

Die unten angeführten Konzepte können mit variabler Stationszahl ausgeführt werden, um ein eventuelles Zusammenlegen von mehreren Teilfunktionen in einer Station zu ermöglichen. Zum Großteil bestimmt der Blister die Ausführung der Werkstückträger, zusätzlich

haben der Schließ- und der Auswurfmechanismus einen Einfluss. Daher wird in der Konzeptphase nicht genauer darauf eingegangen.

Variante 1 – Rundtaktisch: Die genaue Ausführung ergibt sich aus der Gestaltung des Schließmechanismus und besteht grob aus Antrieb, Tischplatte und Werkstückträgern. Die Blister können radial oder tangential angeordnet werden.

Variante 2 – Stetigförderer: Die Stationen werden linear angeordnet und die Werkstückträger werden mit einem geeigneten Zugmittel, z.B. Kette oder Förderband, gezogen. Um für etwaige Mechanismen für das Schließen oder Auswerfen Platz zu bieten, wird der Stetigförderer mit vier, anstatt wie gewöhnlich mit zwei, Umlenkrollen betrieben.

Tabelle 3.8 zeigt das Ergebnis der Bewertung des Beförderungssystems. „Variante 1 – Rundtaktisch“ wird klar besser bewertet.

Tabelle 3.8: Bewertung des Beförderungssystems

		Variante 1			Variante 2		
Nr.	Gew.	W	W _G		W	W _G	
1	1	2	2		3	3	↑
2	1	2	2		3	3	
3	0,7	3	2,1		4	2,8	
4	0,5	2	1		3	1,5	↑
5	0,5	4	2		4	2	
Summe		13	9,1		17	12,3	
Max. $\Sigma = 20, \Sigma_G = 14,8$							

3.4 Kombinationsmöglichkeiten zu einem Gesamtsystem

Da die Funktionseinheiten weitgehend unabhängig von der Ausführung des Gesamtsystems konstruiert werden können, wird hier nur die Kombination der Funktionseinheit Palette¹ und des Beförderungssystems betrachtet. Diese bestimmen maßgeblich den Aufbau des Gesamtsystems und werden daher in mehreren Varianten in Betracht gezogen.

Die Ausführungsvarianten der einzelnen Funktionseinheiten wurden bereits in den vorigen Abschnitten vorgestellt und bewertet. Die besten Konzepte werden mit dem Ergebnis dieser Kombination zum weiter zu verfolgenden Gesamtkonzept verbunden.

Variante 1: (Rollenbahn - Stetigförderer)

Das Palettenmagazin wird als Rollenbahn ausgeführt; ein Stetigförderer dient als Beförderungssystem.

¹Die Funktionseinheit Palette wird zur besseren Lesbarkeit im Anschluss als Palettenmagazin bezeichnet.

Variante 2: (Rollenbahn - Rundtakttisch)

Das Palettenmagazin wird als Rollenbahn ausgeführt; ein Rundtakttisch dient als Beförderungssystem.

Variante 3: (Roboter - Stetigförderer)

Das Palettenmagazin wird in Form eines Transportwagens ausgeführt; das Entnehmen einer Palette übernimmt ein Industrieroboter; ein Stetigförderer dient als Beförderungssystem.

Variante 4: (Roboter - Rundtakttisch)

Das Palettenmagazin wird in Form eines Transportwagens ausgeführt; das Entnehmen einer Palette übernimmt ein Industrieroboter; ein Rundtakttisch dient als Beförderungssystem.

Da beim Abschluss der Konzeptphase noch nicht genügend Details für eine genauere Bewertung zur Verfügung standen, werden die Gesamtkonzepte in Tabelle 3.9 durch eine Argumentenbilanz bewertet. Die Hauptkriterien sind dabei der Platzbedarf und die Herstellkosten. Da alle gefundenen Gesamtvarianten die gestellten Anforderungen erfüllen, wird gemäß den grundlegenden Anforderungen die günstigste Variante weiterverfolgt. Dies ist „Variante 2 – Rollenbahn mit Rundtakttisch“.

Tabelle 3.9: Bewertung Gesamtsystem

Variante	Vorteile	Nachteile
1	kompaktes längliches Maschinenlayout	aufwändiger Stetigförderer
2	kostengünstigste Variante	größte benötigte Grundfläche
3	kleinste benötigte Grundfläche	aufwändigste Variante
4	kleine benötigte Grundfläche	großer benötigter Roboter

3.5 Konzeptlayout der Verpackungsmaschine

Den Abschluss der Konzeptfindung bildet eine maßstäbliche Skizze des Maschinenlayouts, um den von der Verpackungsmaschine benötigten Platz in der Fabrikhalle abschätzen zu können. Zusammen mit den Ergebnissen der Bewertungen lässt sich erkennen, dass mit dem gefundenen Gesamtkonzept alle gestellten Anforderungen gut erfüllt werden können. Abbildung 3.7 zeigt das vorläufige Maschinenlayout nach Abschluss der Konzeptphase. Darin ist die Anordnung der Hauptbaugruppen erkennbar. Die Hauptbaugruppen sind das längliche Palettenmagazin, der durch seinen Arbeitsbereich repräsentierte Industrieroboter, der Beschriftungslaser und der Rundtakttisch mit den einzelnen Stationen samt zugehörigem Platzbedarf.

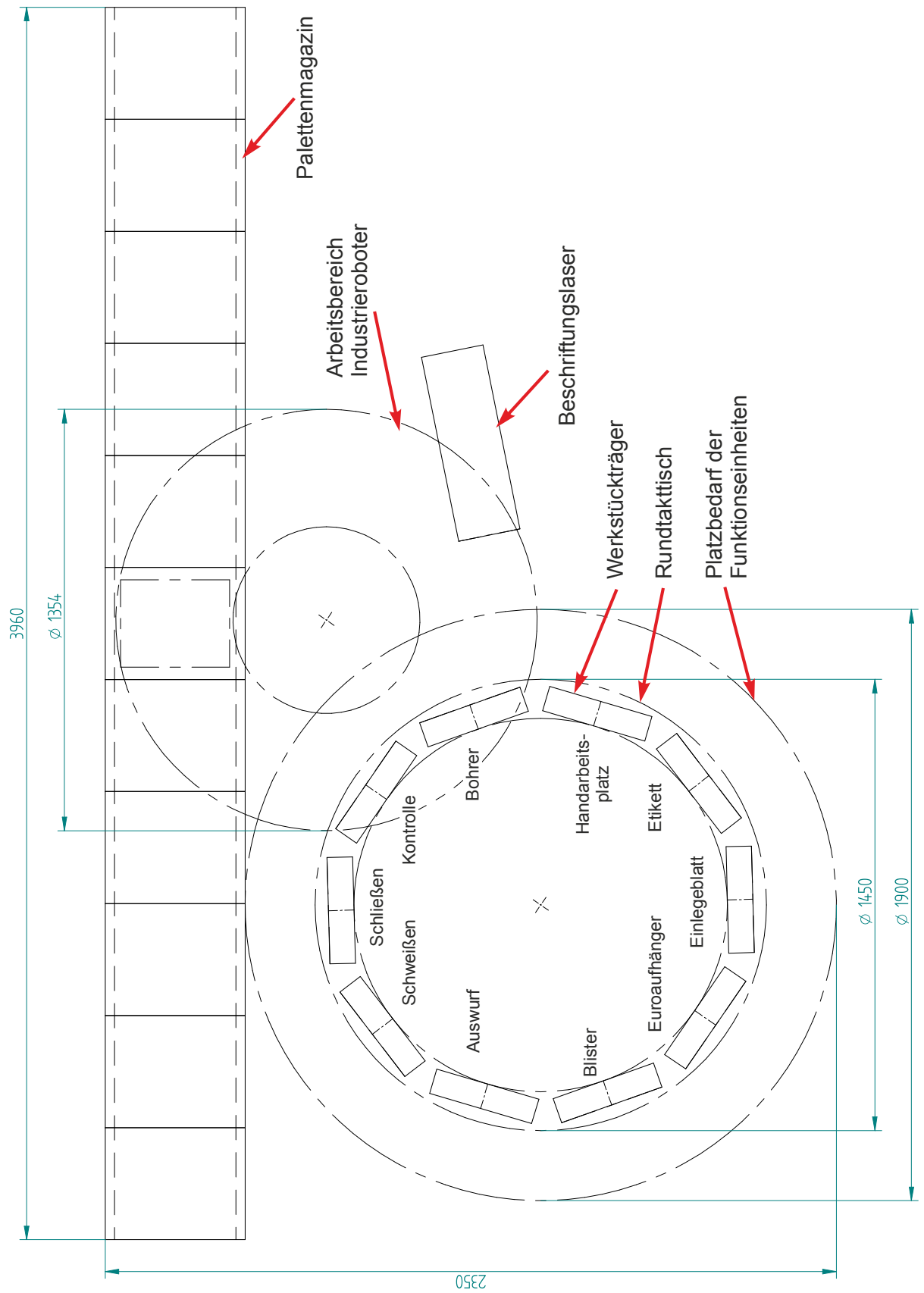


Abbildung 3.7: Konzeptlayout der Verpackungsmaschine

4 Ausarbeitung

In der Konzeptphase wird ein breites Lösungsfeld für die Realisierung der Aufgabenstellung erarbeitet. In den anschließenden Phasen Entwerfen und Ausarbeiten werden nur die am besten bewerteten Konzeptvarianten weiter ausgearbeitet, um den benötigten Aufwand in Grenzen zu halten. Die Konzepte werden in beiden Phasen iterativ so lange bewertet und verbessert, bis ein zufriedenstellendes Ergebnis vorliegt.

Die Fertigungsunterlagen, die im Rahmen der Ausarbeitung entstehen, werden zur weiteren Realisierung der Fa. Eberhard übergeben und sind in dieser Arbeit nicht dargestellt. Zur Beschreibung der Konstruktionsergebnisse werden Abbildungen des erstellten 3D-CAD-Modells¹ verwendet.

4.1 Weiterentwicklung des gewählten Konzepts in der Entwurfsphase

Die gefundenen Teilkonzepte, die in Form von Handskizzen und verbalen Beschreibungen vorliegen, werden in der Entwurfsphase mit Hilfe eines CAD-Programms zu maßstäblichen Modellen weiterentwickelt. Aus den in Abschnitt 3 eingeführten Funktionseinheiten werden konkrete Baugruppen entwickelt. Tabelle 4.1 zeigt die Zuordnung der Baugruppen zu den Funktionseinheiten. Als Montageplattform für alle Baugruppen, mit Ausnahme des Palettenmagazins und des Roboters, wird die Baugruppe Gestell eingeführt. Die einzelnen Baugruppen werden dabei in einer iterativen Vorgehensweise solange verbessert, bis ein zufriedenstellendes Ergebnis vorliegt.

Die geforderte Taktzeit von 15s lässt dem Lasersignieren eine Bearbeitungszeit von 5 – 10s. Die restliche Zeit wird für die Handlingaufgabe benötigt. Die am Markt verfügbaren Lasersysteme, die die geforderte Taktzeit einhalten, sind mit einem Preis von ca. 50.0000 € mit der gesetzten Kostengrenze nicht realisierbar. Billigere Varianten weisen eine Bearbeitungszeit in der Größenordnung von einer Minute auf und werden daher ebenfalls nicht weiter in Betracht gezogen. In Absprache mit der Fa. Eberhard wird daher die Lasersignatur des Bohrschafts aus der Aufgabenstellung gestrichen. Ein mögliches Nachrüsten der Maschine um diese Funktion wird aber weiterhin berücksichtigt.

¹Verwendet wird das Programm Solid Edge ST3.

Tabelle 4.1: Zuordnung der Baugruppen zu den Funktionseinheiten aus Abschnitt 3

Funktionseinheit	Baugruppe(n)
Palette	Palettenmagazin
Forstnerbohrer	Roboter Bohrerstation
Blister	Blisterstation
Euroaufhänger	Euroaufhängerstation
Einlegeblatt	Einlegeblattstation
AM-Etikett	Etikettstation
Kontrolle	Kontrollstation
Schließen	Schließstation
Schweißen	Schweißstation
Auswurf	Auswurfstation
Beförderungssystem	Rundtaktisch
Montageplattform	Gestell

4.2 Kostenabschätzung

Wie in der Aufgabenstellung gefordert, wird vor der Ausarbeitung der Fertigungsunterlagen eine Kostenschätzung durchgeführt. Die Kosten werden dafür in fünf Kategorien aufgeteilt: Fertigungskosten, Kosten für Zukaufteile, Montagekosten, Inbetriebnahmekosten und Kosten für Steuerung und Sensoren. Die Fertigungskosten werden für jedes Bauteil separat anhand der Materialpreise bzw. der Kosten für die Halbzeuge und der Bearbeitungszeit, multipliziert mit dem firmeninternen Stundensatz der jeweiligen Bearbeitung, ermittelt. Die Materialpreise und die geschätzte Bearbeitungszeit werden von der Fa. Eberhard vorgegeben. Die Preise der Zukaufteile werden durch Angebote eingeholt. Die Montage- und Inbetriebnahmekosten werden ebenfalls durch die Fa. Eberhard geschätzt.

Tabelle 4.2 zeigt das nach Baugruppen sortierte Ergebnis der Kostenschätzung der mechanischen Komponenten. Der Montage- und Inbetriebnahmeaufwand sowie die Steuerungskosten werden für die Maschine als Ganzes geschätzt. Zum Zeitpunkt der Kostenschätzung ist von der Fa. Eberhard noch kein Entwurf der zu verwendenden Steuerung vorhanden. Daher beinhaltet der Punkt Steuerung nur die zur Ansteuerung der elektrischen Antriebe benötigten Komponenten. Tabelle 4.3 zeigt die Übersicht der Gesamtkosten. Der ermittelte Betrag von 48.180 € unterschreitet die gesetzte Kostengrenze von 100.000 € und bietet damit ausreichend Spielraum zur Kostendeckung der Steuerung und weiteren Zusatzeinrichtungen. Die Zusatzeinrichtungen sind u.a. ein Schutzzaun und Ablagen für den Handarbeitsplatz und werden in dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt.

Tabelle 4.2: Kostenabschätzung der mechanischen Komponenten

Baugruppe	Fertigungskosten	Zukaufteile
Palettenmagazin	280 €	1800 €
Roboter	990 €	9.500 €
Gestell	110 €	2.400 €
Rundtakttisch	920 €	6.100 €
Blisterstation	670 €	3.200 €
Euroaufhängerstation	180 €	620 €
Einlegeblattstation	180 €	2.600 €
Etikettstation	700 €	1.500 €
Bohrerstation	90 €	100 €
Kontrollstation	50 €	1.600 €
Schließstation	180 €	900 €
Schweißstation	50 €	3.700 €
Auswurfstation	60 €	200 €
Summe	4.460 €	34.220 €

Tabelle 4.3: Ergebnis der Kostenabschätzung

Bezeichnung der Kosten	Betrag
Fertigung	4.460 €
Zukaufteile	34.220 €
Inbetriebnahme	2.400 €
Montage	2.400 €
Steuerung	4.700 €
Gesamtsumme	48.180 €

4.3 Richtlinien für die Detailkonstruktion

Für die anschließende Detailkonstruktion wird eine Reihe von Richtlinien festgelegt. Diese Richtlinien berücksichtigen die Erfahrung und Fertigungsmöglichkeiten der Fa. Eberhard. Weiters wird dadurch ein durchgehendes hochwertiges Design der Maschine erreicht. Hinzu kommt eine Vereinfachung der Montage und Inbetriebnahme durch wiederkehrende Funktionsstrukturen.

Maschinengestell: Die Rahmen für das Grundgestell und die weiteren Baugruppen werden aus Aluminiumprofilen aufgebaut. Diese weisen eine hohe Steifigkeit bei geringem Gewicht auf. Zusätzlich lassen sich Einrichtarbeiten in Profilrichtung ohne weitere Bearbeitungen bewerkstelligen.

Adapterplatten: Die zum Anbau weiterer Komponenten an die Aluminiumprofile benötigten Adapterplatten werden aus Stahl gefertigt. Die Grundform wird dabei lasergeschnitten. Dies ermöglicht große Freiheiten bei der Formgebung. Weiters können in relativ dünne Stahlbleche Gewinde geschnitten werden, wodurch bei Verschraubungen großteils auf Muttern verzichtet werden kann. Zum Schutz der Oberfläche vor Korrosion werden alle Stahlteile brüniert. Sie bilden damit auch einen optischen Kontrast zu den Aluminiumteilen.

Zukaufteile: Die benötigten Zukaufteile werden soweit als möglich von einer Liste bekannter Lieferanten der Fa. Eberhard ausgewählt.

Verbindung der Bauteile: Zur Erleichterung der Montagearbeiten werden die wesentlichen Bauteile in ihrer Position zueinander durch Passstifte und Passhülsen fixiert. Zusätzlich werden dadurch die Einrichtmöglichkeiten auf definierte Punkte beschränkt. Dies gilt vor allem für die Pick & Place-Einheiten.

Hubeinstellung der Pneumatikzylinder: Die Feineinstellung der Hübe der Führungszylinder erfolgt durch die Positionierung der integrierten Stoßdämpfer. Diese sind mit einem Gewinde versehen und erlauben damit eine einfache und exakte Anpassung der ein- und ausgefahren Position während der Montage und Inbetriebnahme.

4.4 Ausführung der Verpackungsmaschine

Die Beschreibung der ausgeführten Konstruktion folgt der Struktur der Fertigungs- und Montagezeichnungen. Begonnen wird mit einer Übersicht der Gesamtzusammenstellung, im Anschluss werden die einzelnen Unterbaugruppen vorgestellt.

4.4.1 Zusammenstellung

Abbildung 4.1 zeigt die Stückliste des in Abbildung 4.2 dargestellten Layouts der Verpackungsmaschine. Mit einem Platzbedarf von 4112×2750 mm werden die vorgegeben Hauptabmessungen von 6000×3700 mm eingehalten. Die Rollenbahn, der Roboter und das Gestell werden zueinander eingerichtet und am Hallenboden verankert. Ein Schutzzaun mit entsprechenden Türen zum Nachfüllen der Magazine trennt den Gefahrenbereich der Maschine von den umliegenden manuellen Arbeitsplätzen ab. Der Schutzzaun ist kein Teil dieser Arbeit und wird daher nicht weiter betrachtet. Die Sammelboxen für die fertigen Verpackungseinheiten und die Verpackungsabfälle sind in Abbildung 4.2 nicht eingezeichnet. Auf die Funktionsweise der einzelnen Baugruppen wird in den nachfolgenden Abschnitten eingegangen. In Abbildung 4.3 ist eine 3D-Ansicht der Verpackungsmaschine dargestellt. Darin sind die Verbindungen der Baugruppen mit dem Gestell erkennbar.


13	Auswurfstation	1		13-000	2,7	2,7
12	Schweißstation	1		12-000	5,9	5,9
11	Schließstation	1		11-000	8,6	8,6
10	Kontrollstation	1		10-000	2,1	2,1
09	Bohrerstation	1		09-000	1,2	1,2
08	Etikettstation	1		08-000	18,3	18,3
07	Einlegeblattstation	1		07-000	16,1	16,1
06	Euroaufhängerstation	1		06-000	10,2	10,2
05	Bliesterstation	1		05-000	62,5	62,5
04	Rundtaktisch	1		04-000	177,1	177,1
03	Gestell	1		03-000	90,3	90,3
02	Roboter	1		02-000	62,8	62,8
01	Palettenmagazin	1		01-000	94,0	94,0
Pos.	Benennung	Stk.	Werkstoff / Norm	Zeichn.-Nr.	Stk.Gew.	Ges.Gew.
Rev.	Beschreibung der Änderung		Name	Datum	Gepr.	
Gez.	Datum	Name				
Gepr.	11.12.2011	Martin Rath				
Dateiname	00-000_Verpackungsmaschine.dft					
Verpackungsmaschine			Maßstab	Masse		
			1 : 10	552kg		
Layoutplan			Werkstoff		Zeichnungs-Nr.	
					00-000 / a	

Abbildung 4.1: Stückliste der Gesamtzusammenstellung

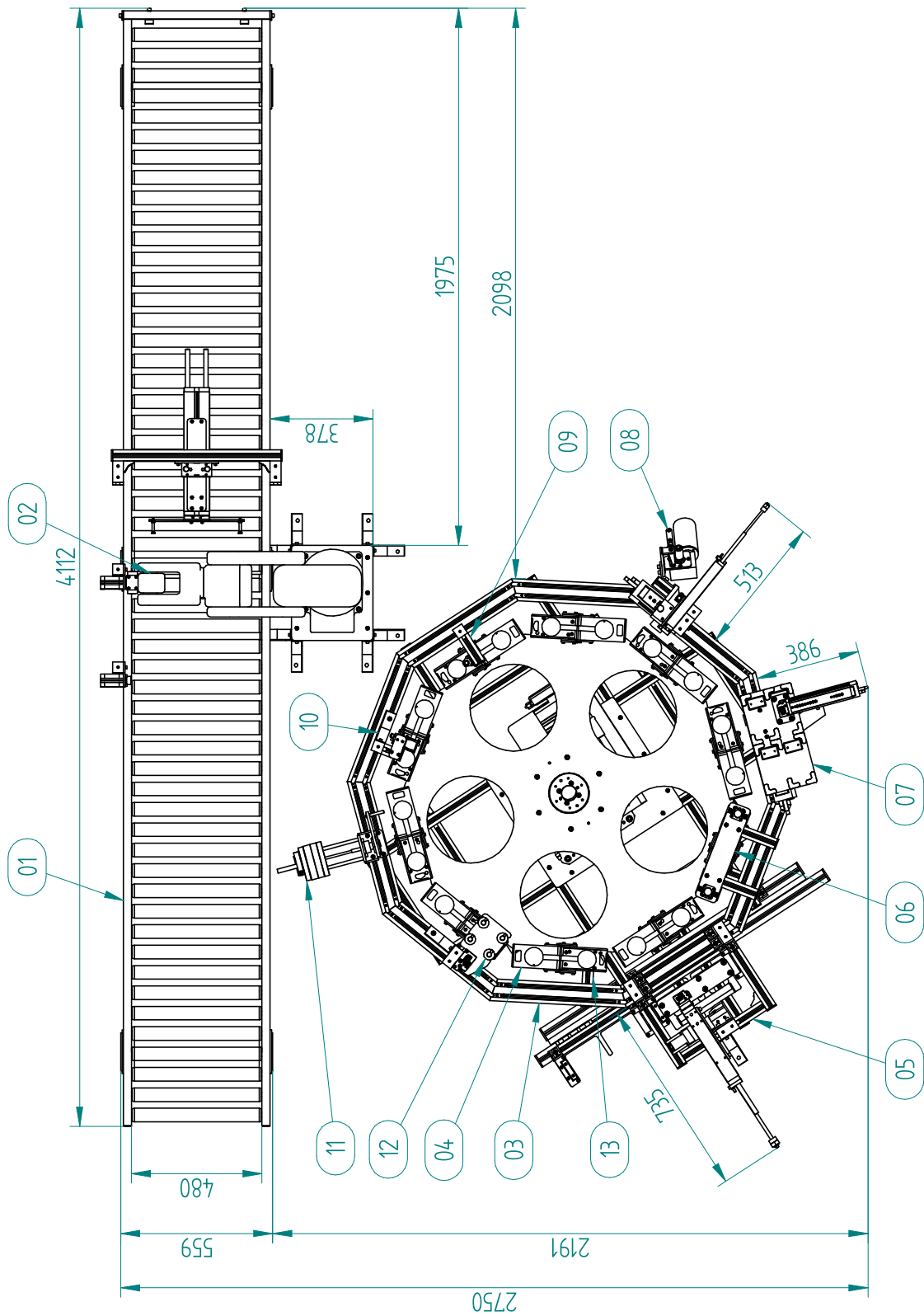


Abbildung 4.2: Layoutplan der Verpackungsmaschine

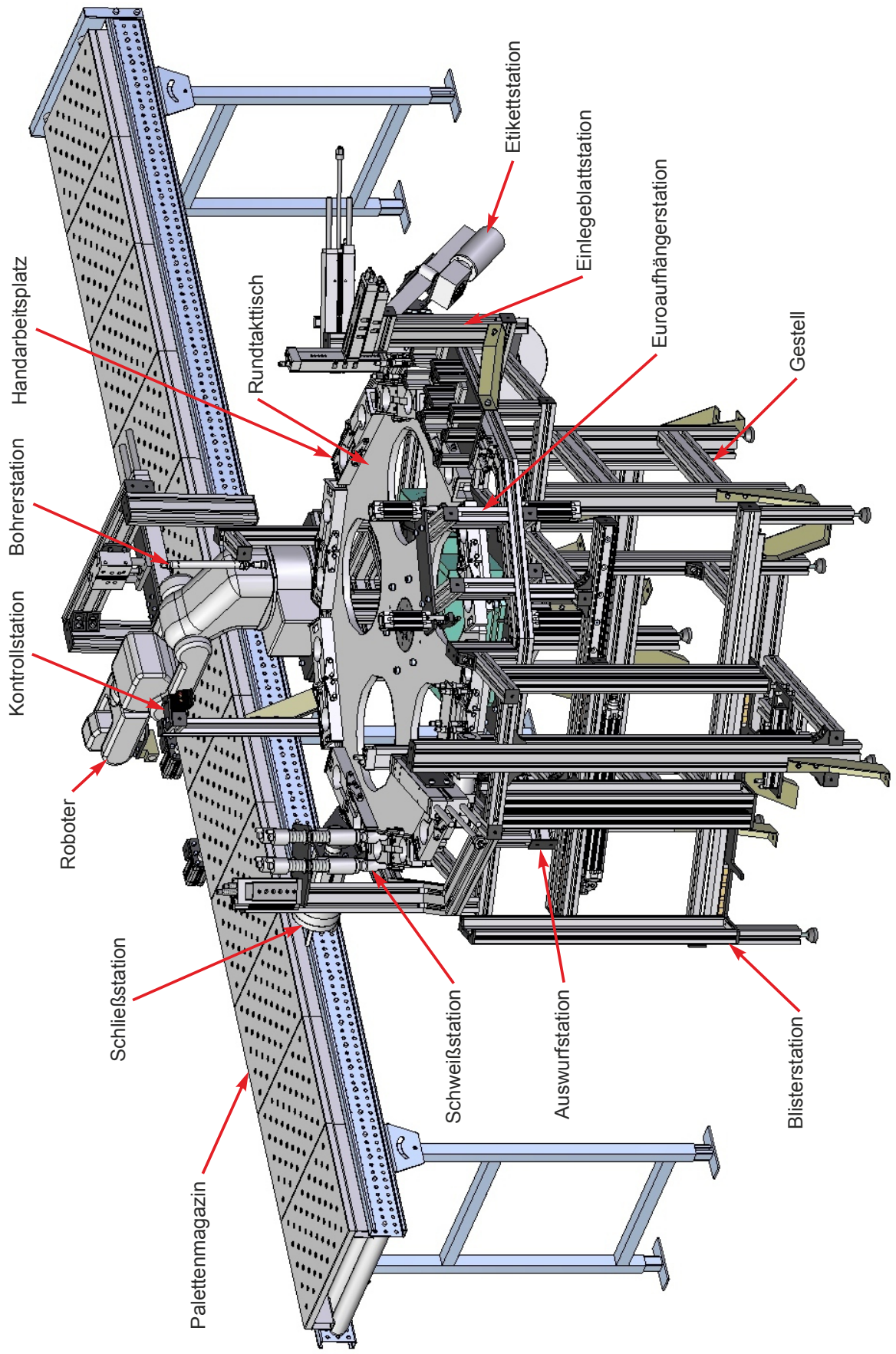


Abbildung 4.3: Gesamtansicht des 3D-CAD-Modells der Verpackungsmaschine, Bild 90° gedreht

Funktionsablauf

Die Verpackungsmaschine kann in drei Betriebsarten betrieben werden. Neben einem Automatikbetrieb sind das ein manueller Betrieb und ein Tastbetrieb.

Automatikbetrieb

Zu Beginn werden die Magazine aufgefüllt. Die Beschreibung der parallel ausgeführten Funktionen folgt der Sichtweise eines Blisters vom Blistermagazin bis zum Auswurf. Zwischen den einzelnen Funktionen dreht sich der Rundtakttisch jeweils um eine Position weiter. Die Stationen werden dabei in folgender Reihenfolge durchlaufen:

1. In der *Blisterstation* werden die Blister in den entsprechenden Werkstückträger des Rundtakttisches eingelegt.
2. In der *Euroaufhängerstation* werden die Euroaufhänger aus den Blistern rausgedrückt.
3. In der *Einlegeblattstation* werden Einlegeblätter in die Blister eingelegt.
4. In der *Etikettstation* werden AM-Etiketten auf die Einlegeblätter geklebt.
5. Der *Handarbeitsplatz* ist für das manuelle Einlegen der Verpackungskomponenten vorgesehen. Im Automatikmodus geschieht hier nichts.
6. In der *Bohrerstation* werden Forstnerbohrer in die Blister eingelegt. Diese werden vom Industrieroboter von einer Palette entnommen und dem Magnetgreifer übergeben.
7. In der *Kontrollstation* wird das korrekte Einlegen der einzelnen Komponenten in den Werkstückträger überprüft. Tritt ein Fehler auf, stoppt die Maschine und kann erst nach dem Quittieren einer Fehlermeldung den Automatikbetrieb fortsetzen.
8. In der *Schließstation* werden die fehlerfreien Verpackungseinheiten geschlossen.
9. In der *Schweißstation* werden die geschlossenen Blister verschweißt.
10. In der *Auswurfstation* werden die fertigen Verpackungseinheiten aus dem Werkstückträger ausgeworfen und landen in einer bereitgestellten Sammelbox.

Manueller Betrieb

Im manuellen Betrieb sind alle Funktionen, bis auf das Schließen, das Schweißen und das Auswerfen, außer Betrieb gesetzt. Ein Blister, ein Einlegeblatt und ein Forstnerbohrer werden von Hand in den entsprechenden Werkstückträger des Handarbeitsplatzes eingelegt. Die drei genutzten Funktionen laufen dabei wie im Automatikbetrieb beschrieben ab. Durch die Betätigung einer Zweihandschaltung wird das manuelle Einlegen der Komponenten bestätigt und der Rundtakttisch dreht sich um eine Position weiter.

Tastbetrieb

Diese Betriebsart ist als Testbetrieb z.B. nach dem Wechsel der Greiferbacken vorgesehen. Dabei ist der volle Funktionsumfang des Automatikbetriebs verfügbar, lediglich das Weiterdrehen des Rundtaktisches muss nach jedem Schritt manuell durch einen Taster ausgelöst werden.

4.4.2 Palettenmagazin

Gemäß dem Ergebnis aus Abschnitt 3.3.2 wird das Palettenmagazin als Rollenbahn mit ca. drei prozentiger Neigung und mittig angeordneter Vereinzelung ausgeführt, siehe Abbildung 4.4. Verwendet wird eine Rollenbahn mit einer Bahnlänge von 4100 mm und einer nutzbaren Breite von 480 mm. Die C-Profile mit den Aufnahmebohrungen für die Rollen dienen gleichzeitig als seitliche Führung der Paletten. Am unteren Ende ist ein Endanschlag mit Gummipuffern montiert. Die Palettenvereinzelung besteht aus zwei Spannvorrichtungen und einer absenkbaren Stoppvorrichtung, siehe Abbildung 4.5. Die Neigung der Rollenbahn kann durch drei höhenverstellbare Unterstüzungen bei der Inbetriebnahme auf den kleinsten möglichen Wert eingestellt werden.

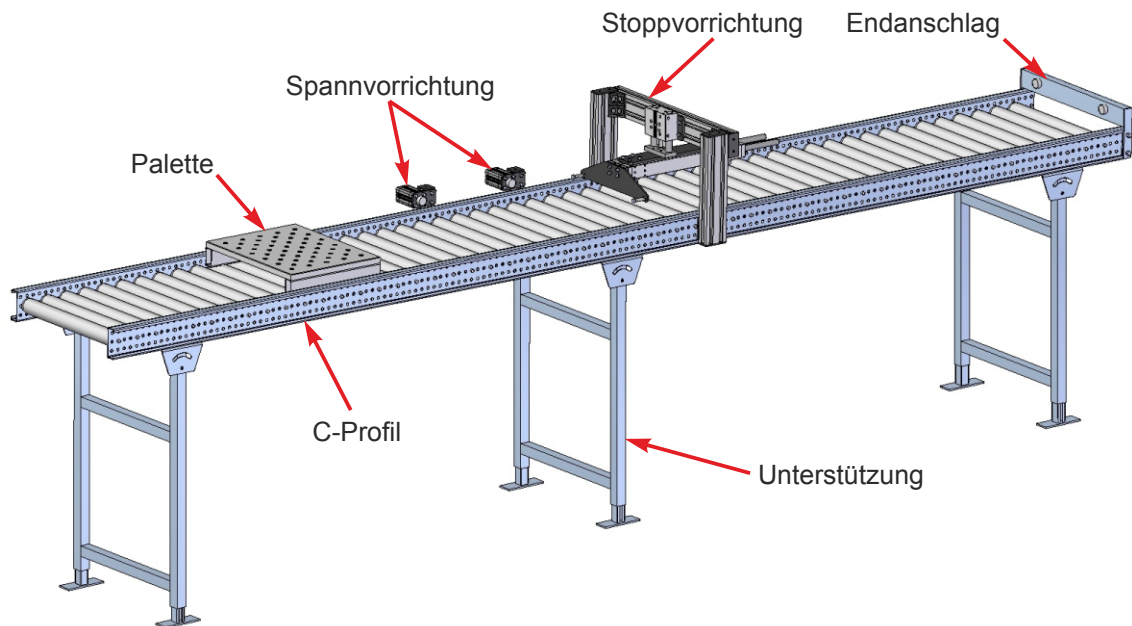


Abbildung 4.4: Übersicht Palettenmagazin

Die Spannvorrichtung, siehe Abbildung 4.5a, besteht aus einem Zylinder mit angeschraubtem Gummipuffer und einem Rahmen. Mittels einer Klemmung ist die Spannvorrichtung seitlich am C-Profil der Rollenbahn montiert. Die Stoppvorrichtung, siehe Abbildung 4.5b besteht aus zwei Führungszyklindern und einem Anschlag. Der Rahmen ist mit einer Klemmung beidseitig mit den C-Profilen verbunden.

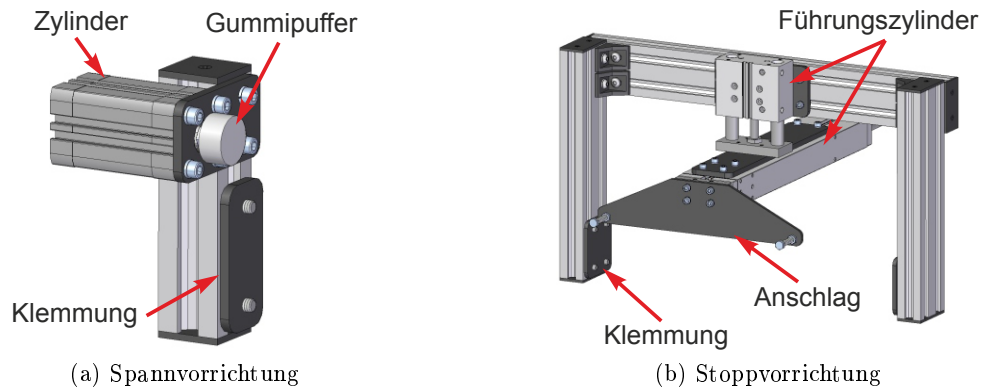


Abbildung 4.5: Bestandteile der Vereinzelung

Funktionsbeschreibung

Das Palettenmagazin bietet Platz für sechs volle Paletten. Diese werden auf dem oberen Teil der Rollenbahn abgelegt. Dabei ist die Stoppvorrichtung in der unteren eingefahrenen Position. Durch die untere der beiden Spannvorrichtungen wird die aktuell abgearbeitete Palette in eine definierte Position gebracht und dort gehalten. Sobald die aktuelle Palette leer ist, fährt die Stoppvorrichtung nach oben, die obere der beiden Spannvorrichtungen fährt aus und hält die noch vollen Paletten in Position. Anschließend gibt die untere Spannvorrichtung die leere Palette frei, die unter der Stoppvorrichtung hindurch in den unteren Teil der Rollenbahn rollt. Danach fährt die Stoppvorrichtung in die untere Position und der Anschlag fährt aus. Die obere Spannvorrichtung gibt die Paletten frei, welche am Anschlag gestoppt werden. Dieser fährt anschließend langsam ein. Nach dem Ausfahren der unteren Spannvorrichtung befindet sich die nächste Palette in der definierten Abarbeitungsposition. Ein Sensor im Bereich der oberen Spannvorrichtung erkennt das Vorhandensein der Paletten. Ist keine Palette mehr vorhanden stoppt die Steuerung die Maschine.

4.4.3 Roboter

Für die Handhabung des Bohrers von der Palette bis zur Übergabe an den Magnetgreifer wird ein Industrieroboter verwendet, siehe Abbildung 4.6. Der Roboter mit einem Arbeitsbereich von $r = 677 \text{ mm}$ ist auf einem Gestell aus Aluminiumprofilen montiert.

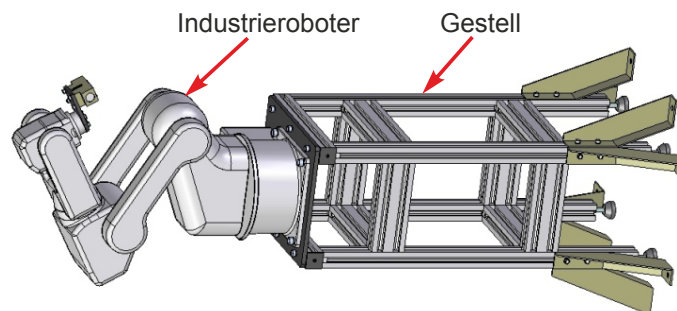


Abbildung 4.6: Übersicht Robotersystem, Bild 90° gedreht

Um den für diese Aufgabe eigentlich zu kleinen Arbeitsbereich des Roboters zu vergrößern, wird der Greifer mit einer Adapterplatte parallel zur letzten Roboterachse verschoben, siehe Abbildung 4.7a. Zum Greifen der Bohrer am Bohrerkopf wird ein Greifer, mit an die verschiedenen Bohrergrößen angepassten Wechselbacken, verwendet. Dieses System ist in der Fa. Eberhard bereits in einer Maschine im Einsatz, siehe Abbildung 4.7b.

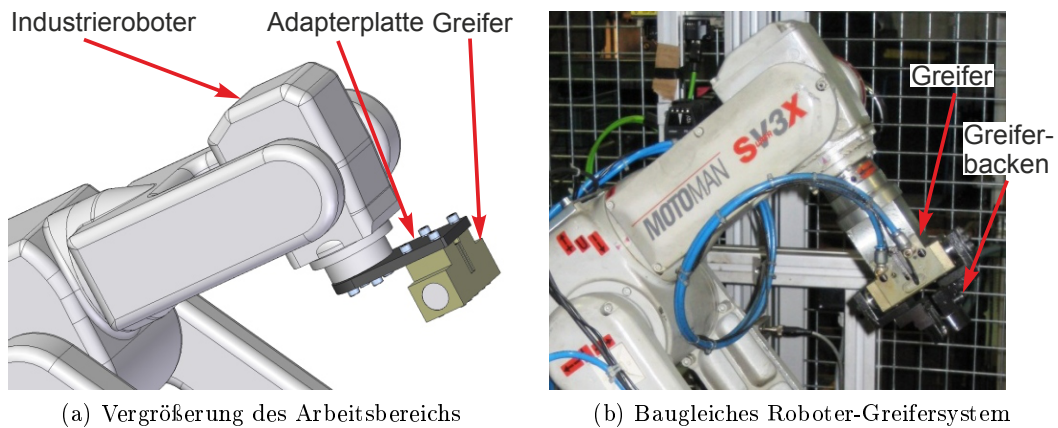


Abbildung 4.7: Verwendetes Greifersystem

Funktionsbeschreibung

Der Roboter entnimmt die Bohrer in einer vorgegebenen Reihenfolge von einer Palette. Mit dem freien Schaft wird der gegriffene Bohrer knapp unter dem Elektromagnet, vgl. Abschnitt 4.4.10, positioniert. Daraufhin wird der Magnet eingeschaltet und der Greifer gibt den Bohrer frei. Der Industrieroboter fährt im Anschluss in seine Ausgangsposition zurück. Ein Sensor am Greifer erkennt nach dem Schließen der Greiferbacken, ob ein Bohrer vorhanden ist. Ist kein Bohrer vorhanden, wird die nächste Position auf der Palette angefahren. Damit können auch nicht voll besetzte Paletten abgearbeitet werden.

4.4.4 Gestell

Zur Aufnahme des Rundtaktisches und der dazugehörigen Stationen wird ein Maschinengestell aus Aluminiumprofilen verwendet, siehe Abbildung 4.8. Die Montageplatte in der Mitte des Gestells bildet den Anschluss zum Rundtaktisch und dient gleichzeitig als Versteifung des Gestells. Der zehneckige Ring mit einem Außendurchmesser von 1635 mm bietet eine Montageplattform für die einzelnen Stationen am Rundtaktisch, wobei eine gute tangentielle Einrichtmöglichkeit gegeben ist.

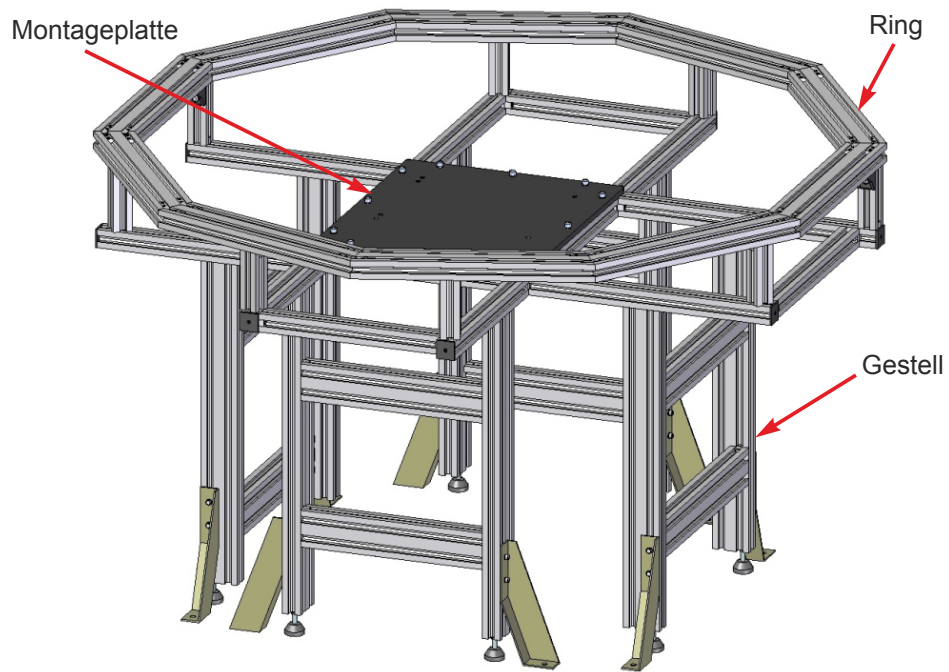


Abbildung 4.8: Übersicht Gestell

4.4.5 Rundtakttisch

Die Baugruppe Rundtakttisch besteht aus einer Tischplatte, einem elektrischen Antrieb und zehn Werkstückträgern, siehe Abbildung 4.9.

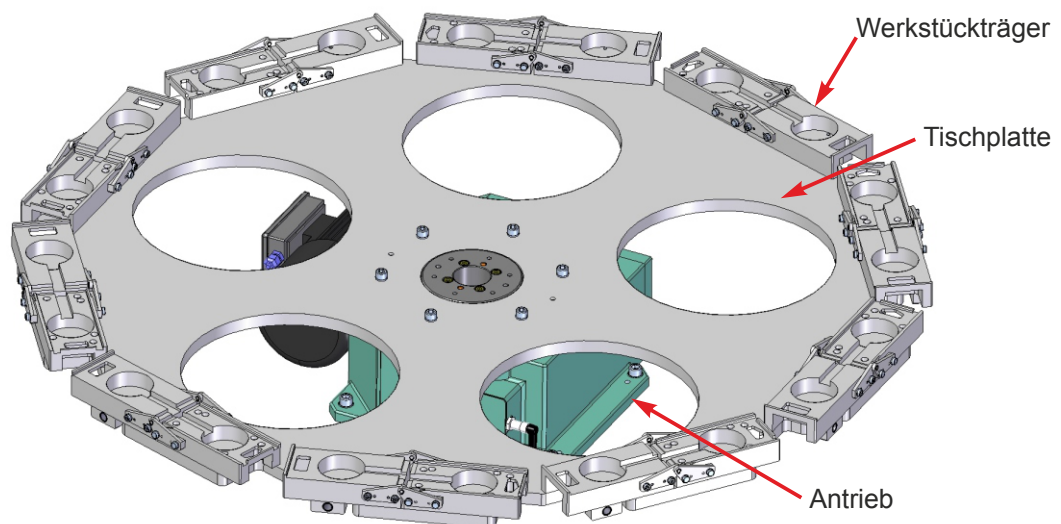


Abbildung 4.9: Übersicht Rundtakttisch

Die Tischplatte besteht aus 20 mm starkem Aluminium und hat einen Durchmesser von 1235 mm. Die großzügigen Ausnehmungen dienen einerseits zur Gewichtsreduktion und erleichtern andererseits die Montage- und Einrichtarbeiten bei montierter Tischplatte. Auf-

grund der großen Abmessungen wird die Tischplatte mit einem FE-Programm² statisch auf Biegung nachgerechnet. Die größten Kräfte treten beim Schließen mit einem Wert von 170 N und beim Verschweißen mit 240 N auf. Die maximal notwendige Schließkraft wurde durch einen Versuch ermittelt und die maximal mögliche Schweißkraft ergibt sich aus der Federkraft im Höhenausgleich der vier Ultraschallkonverter. Die beiden Kräfte greifen gleichzeitig in benachbarten Werkstückträgern an. Abbildung 4.10 zeigt das Ergebnis der Berechnung. Mit einer maximalen Verschiebung von 1,6 mm zeigt sich, dass die Tischplatte ausreichend stabil dimensioniert ist. Der Antrieb des Rundtakttisches erfolgt elektrisch und

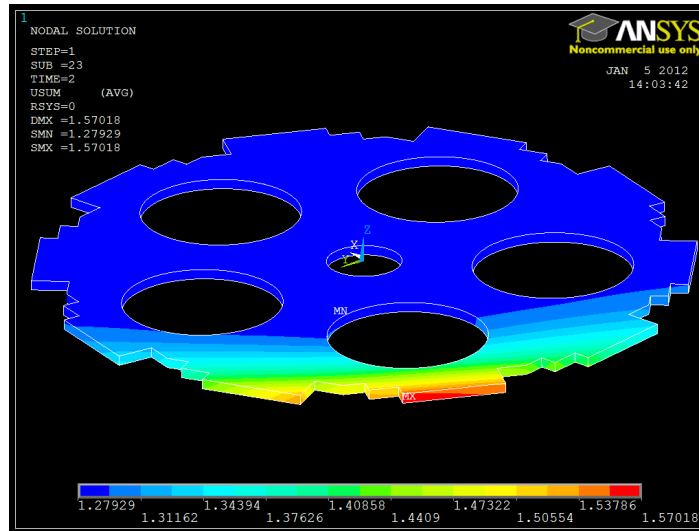


Abbildung 4.10: Berechnung der zu erwartenden Verformung

führt eine sehr ruckarme Bewegung aus. Die Werkstückträger, siehe Abbildung 4.11, bestehen aus zwei Hälften. Eine Hälfte ist mit der Tischplatte verschraubt, die andere Hälfte ist mit einem Drehgelenk beweglich gelagert. Die Form der Werkstückträger gewährleistet eine sichere Aufnahme der Blister während der Schließbewegung. Der Mitnehmer dient als Verbindung zur Schließstation, vgl. Abschnitt 4.4.12. Weiters sind in Abbildung 4.11 die Ausnehmungen für das Rausdrücken der Euroaufhänger, vgl. Abschnitt 4.4.7, und die Bohrungen für den Auswurf, vgl. Abschnitt 4.4.14, erkennbar.

Funktionsbeschreibung

Der Rundtakttisch dreht sich nach jedem Arbeitstakt um 36° weiter und fixiert die jeweilige Position. Die Werkstückträger nehmen die Blister in einer definierten Position auf. Die genaue Funktionsweise der Werkstückträger ist in den jeweiligen Abschnitten genauer beschrieben.

²Verwendet wird das Programm ANSYS V13.

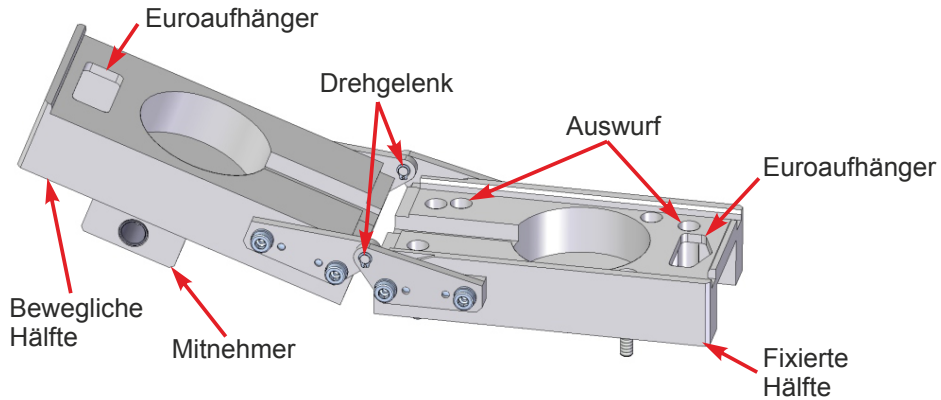


Abbildung 4.11: Übersicht Werkstückträger

4.4.6 Blisterstation

Abbildung 4.12 zeigt eine Übersicht der Blisterstation. Der aus Aluminiumprofilen bestehende Rahmen wird an den vorgesehenen Anschlusspunkten mit dem Gestell verschraubt. Die Hauptkomponenten der Blisterstation sind das verschiebbare Magazin für die Blister, die Hubvorrichtung mit Zahnriemenachse und die Pick & Place-Einheit zum Einlegen der Blister in die Werkstückträger. Das Magazin ist mit zwei Linearführungen verschiebbar gelagert. Ein Pneumatikzylinder führt die notwendige Verschiebewegung aus. Durch die Freistellungen in der Grundplatte des Magazins kann die Hubvorrichtung nach oben fahren und die Blisterstapel anheben. Die Pick & Place-Einheit ist mit sechs Vakuumsaugern zum Anheben der Blister ausgerüstet. Zum Ausgleich der Höhenunterschiede im Blister verfügen die Vakuumsauger über einen federbelasteten Höhenausgleich.

Funktionsbeschreibung

Zwei Stapel Blister zu je 150 Stück mit einer Höhe von jeweils 750 mm finden im Magazin Platz. Bei eingefahrenem Verschiebezylinder wird der erste Stapel abgearbeitet. Dazu fährt die vertikale Achse der Pick & Place-Einheit nach unten. Anschließend hebt die Hubvorrichtung den Blisterstapel an, bis ein zwischen den Vakuumsaugern montierter Schalter³ anspricht. Daraufhin wird ein Unterdruck an die Vakuumsauger angelegt und der oberste Blister kann in den Werkstückträger am Rundtaktisch eingelegt werden. Dieser Vorgang wiederholt sich solange, bis ein Endschalter am oberen Ende der Zahnriemenachse anspricht. Damit ist die erste Magazinhälfte leer. Die Hubvorrichtung fährt in die untere Warteposition und das Magazin wird verschoben. Das Abarbeiten des zweiten Stapels funktioniert gleich wie eben beschrieben. Spricht der obere Endschalter der Zahnriemenachse bei ausgefahrenem Verschiebezylinder an, erkennt die Steuerung, dass das gesamte Magazin leer ist und stoppt die Maschine.

³Die genaue Position dieses Schalters muss bei der Inbetriebnahme angepasst werden und ist daher in Abbildung 4.12 nicht dargestellt.

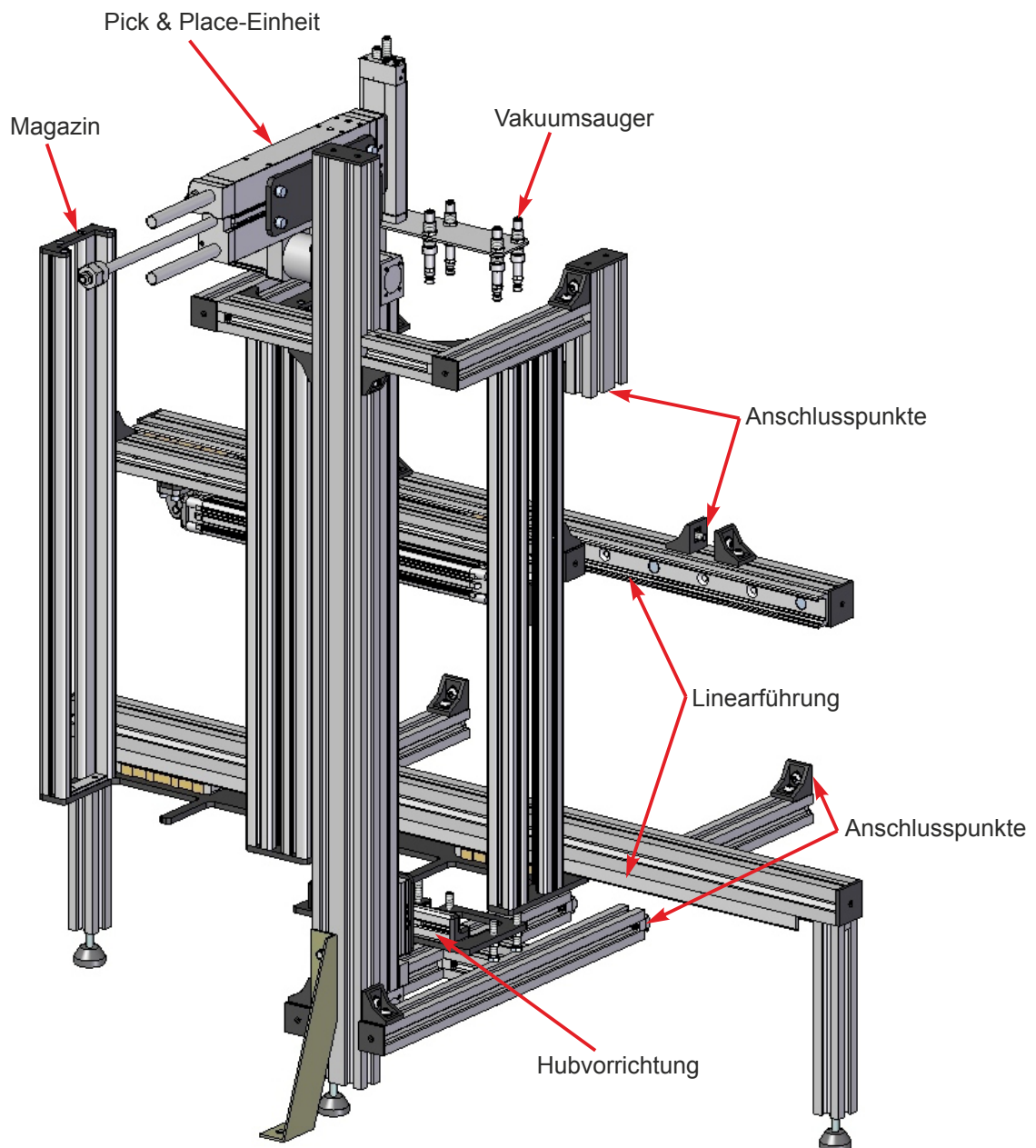


Abbildung 4.12: Übersicht Blisterstation

4.4.7 Euroaufhängerstation

Die Station zum Rausdrücken der Euroaufhänger besteht aus zwei Hälften, siehe Abbildung 4.13. Eine Hälfte ist an der Oberseite des Rings montiert, die andere Hälfte an der Unterseite. Die obere Hälfte besteht aus jeweils einem Pneumatikzylinder mit einem Stempel und zwei Stoßdämpfern. Der Abstand zwischen den beiden Zylindern beträgt 307 mm. Die Stoßdämpfer halten den Blister während dem Rausdrücken in Position. Die untere Hälfte besteht aus jeweils einem Pneumatikzylinder mit einer aufgeschraubten Spitze. Mit diesen Spitzen werden die Kunststoffplättchen während des Rausdrückens eingeklemmt.

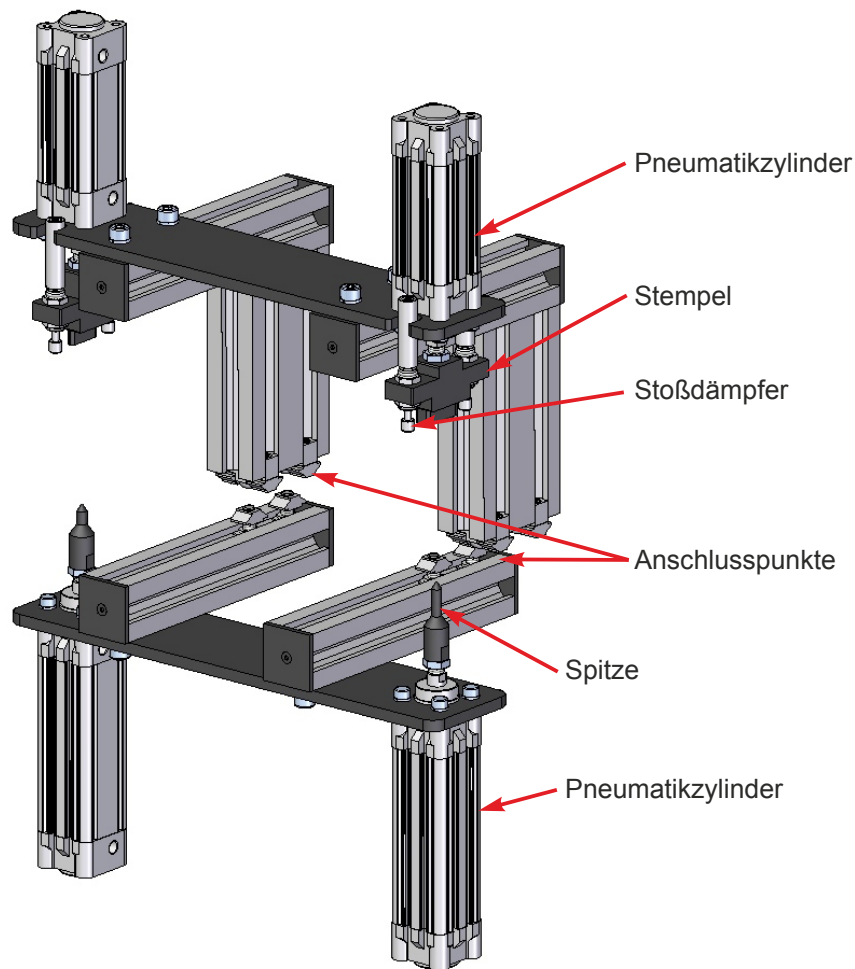


Abbildung 4.13: Übersicht Euroaufhängerstation

Funktionsbeschreibung

Die folgende Beschreibung gilt für beide Blisterhälften gleichermaßen. Der untere Zylinder fährt aus und positioniert damit die Spitze knapp unter dem Blister. Ein Druckbegrenzungsventil sorgt dafür, dass der untere Zylinder weniger Kraft hat als der obere Zylinder ausübt. Anschließend fährt der obere Zylinder aus. Dabei treffen zuerst die Stoßdämpfer auf den Blister und fixieren diesen. Im weiteren Verlauf der Bewegung trifft der Stempel auf den Blister auf und presst den vorgestanzten Euroaufhänger heraus. Der untere Zylinder wird dabei durch den oberen nach unten gedrückt. Die so entstehende Kraft zwischen Spitze und Euroaufhänger verhindert, dass die Plättchen seitlich wegrutschen und hängen bleiben. Anschließend fahren beide Zylinder wieder in die Ausgangsposition zurück. Die Kunststoffplättchen fallen frei nach unten in eine bereitgestellte Auffangbox.

4.4.8 Einlegeblattstation

Abbildung 4.14 zeigt einer Übersicht der Einlegeblattstation. Ihre Hauptkomponenten sind ein vierteiliges Magazin mit Hauptabmessungen von $379 \times 194 \times 90$ mm und eine

Pick & Place-Einheit mit Vakuumsaugern. Die Hauptkomponenten sind an den eingezeichneten Anschlusspunkten mit dem Ring des Gestells verschraubt. Jeweils ein Höhenausgleich pro Stapel verringert die faltungsbedingte Schrägstellung der Einlegeblätter im Magazin. Das Magazin ist in Längsrichtung mit einem Führungszylinder verschiebbar. Die Pick & Place-Einheit ist in horizontaler Richtung mit zwei Führungszylindern ausgerüstet. Somit lassen sich alle vier Magazin Stapel erreichen. Die Vakuumsauger sind mit einem federbelasteten Höhenausgleich ausgestattet.

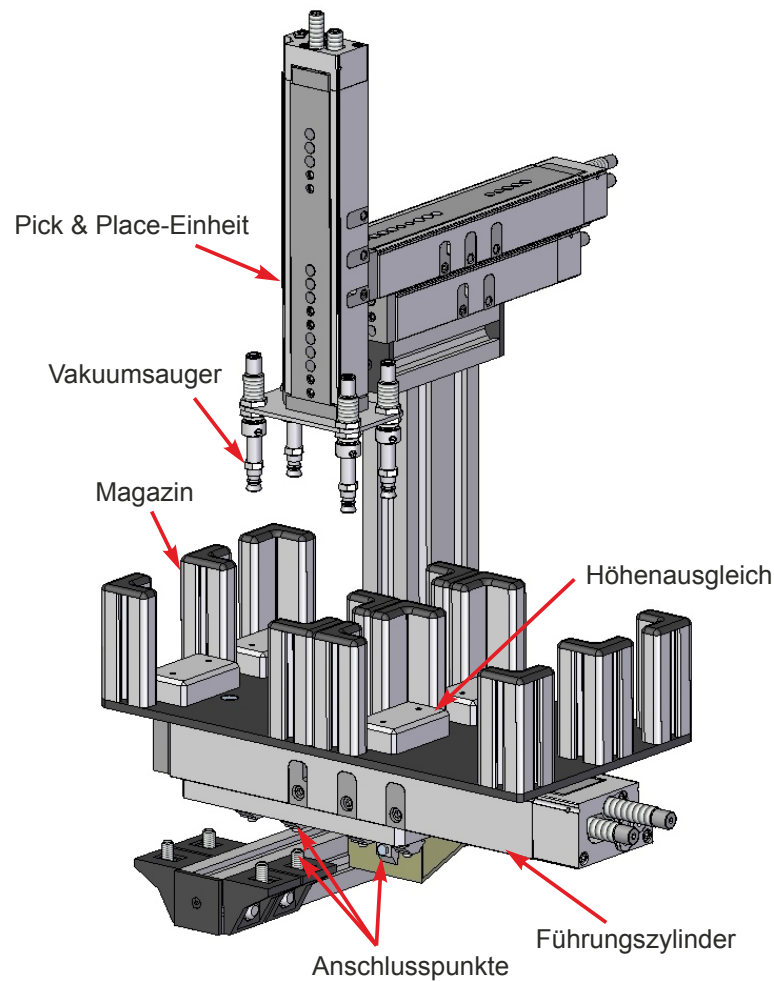


Abbildung 4.14: Übersicht Einlegeblattstation

Funktionsbeschreibung

Vier Stapel Einlegeblätter zu je 75 Stück mit einer Höhe von jeweils 75 mm Höhe finden im Magazin Platz. Die Stapel werden der Reihe nach abgearbeitet. Die vertikale Achse der Pick & Place-Einheit fährt nach unten, bis ein Schalter⁴ der zwischen den Vakuumsaugern montiert ist anspricht. Daraufhin werden die Vakuumsauger aktiviert und die vertikale

⁴Die genaue Position dieses Schalters muss bei der Inbetriebnahme angepasst werden und ist daher in Abbildung 4.14 nicht dargestellt.

Achse hebt das oberste Einlegeblatt an. Anschließend wird das Einlegeblatt in den Blister eingelegt. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, bis der Endschalter der vertikalen Achse anspricht, bevor der Schalter das Erreichen der Einlegeblätter meldet. Die Steuerung erkennt so, dass der Magazinstapel leer ist und arbeitet den nächsten Stapel ab. Spricht der Endschalter der vertikalen Pick & Place-Achse an, wenn der letzte Magazinstapel bearbeitet wird, stoppt die Steuerung die Maschine.

4.4.9 Etikettstation

Eine Übersicht der Etikettstation zeigt Abbildung 4.15. Die Hauptkomponenten sind die Abziehkante mit der Folienbremse, die Pick & Place-Einheit mit einem Vakuumsauger, die Antriebseinheit und der Rahmen mit Umlenkung und Rollenhalterung. Montiert ist die ganze Station auf einer Verschiebeeinrichtung, die die Station tangential zum Montagerring des Gestells verschiebt. Dies ist notwendig, um beide Einklebepositionen zu erreichen, vgl. Abschnitt 3.3.7. Die Verschiebeeinrichtung bildet den Anschluss an das Gestell. Die Gesamthöhe der Etikettstation beträgt 573 mm.

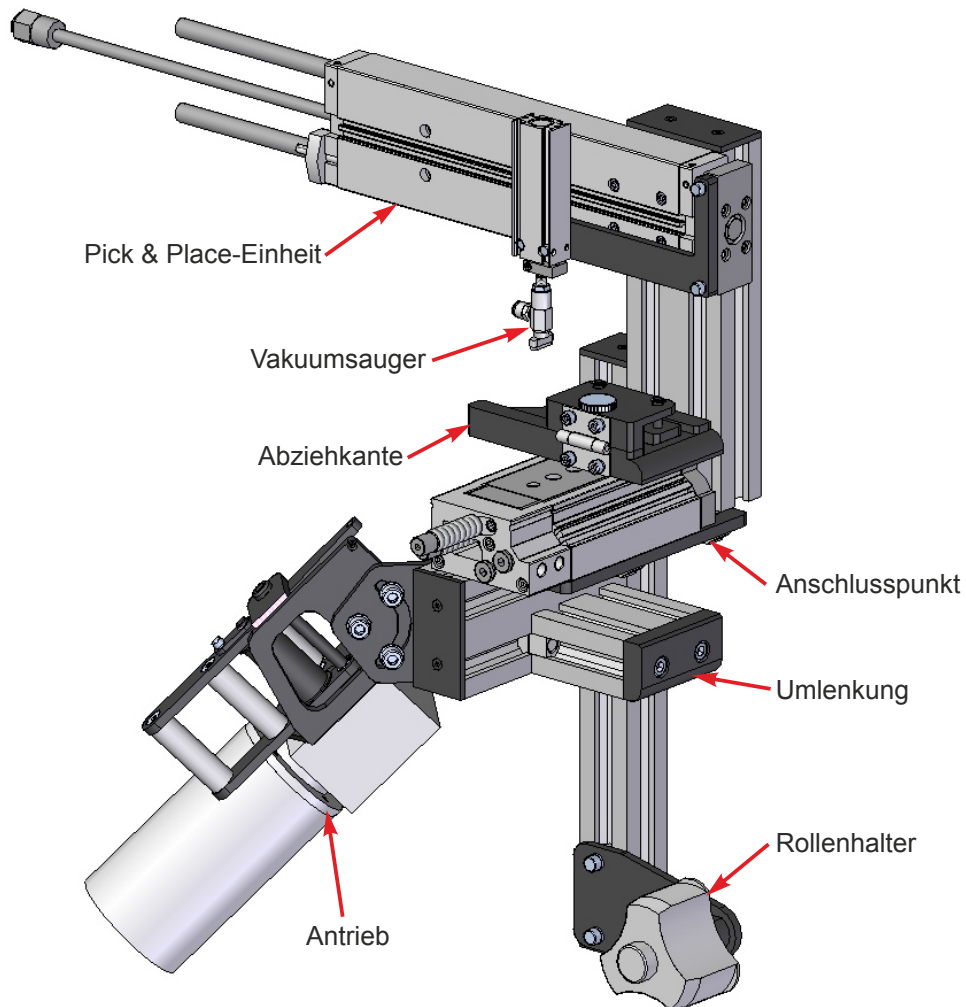


Abbildung 4.15: Übersicht Etikettstation

Die horizontale Achse der Pick & Place-Einheit ist mit einem Führungszylinder ausgeführt, die vertikale Achse besteht aus einem Kompaktzylinder mit Verdrehsicherung. Der Vakuumsauger ist entsprechend der Form der Etiketten oval ausgeführt. Der Rahmen der Etikettstation besteht aus miteinander verschraubten Aluminiumprofilen. Die Rollenhalterung mit integrierter Bremse ist einem handelsüblichen Klebebandroller entnommen.

Der Weg der Folie führt von der Oberseite der Rolle über eine Umlenkung vertikal nach oben. An der Abziehkante wird die Folie über eine weitere Umlenkung horizontal nach außen geführt. Auf der Abziehkante ist eine federbelastete Bremse montiert, um die Folie bei der Entnahme eines Etiketts gespannt zu halten, siehe Abbildung 4.16. Zum Einlegen einer neuen Rolle mit Etiketten kann die Bremse weggeklappt werden. Das Ende der Abziehkante weist zur Abziehrichtung einen Winkel von 45° auf. Dadurch wird die Folie Richtung schräg nach unten umgelenkt und die AM-Etiketten lösen sich allmählich von der Folie.

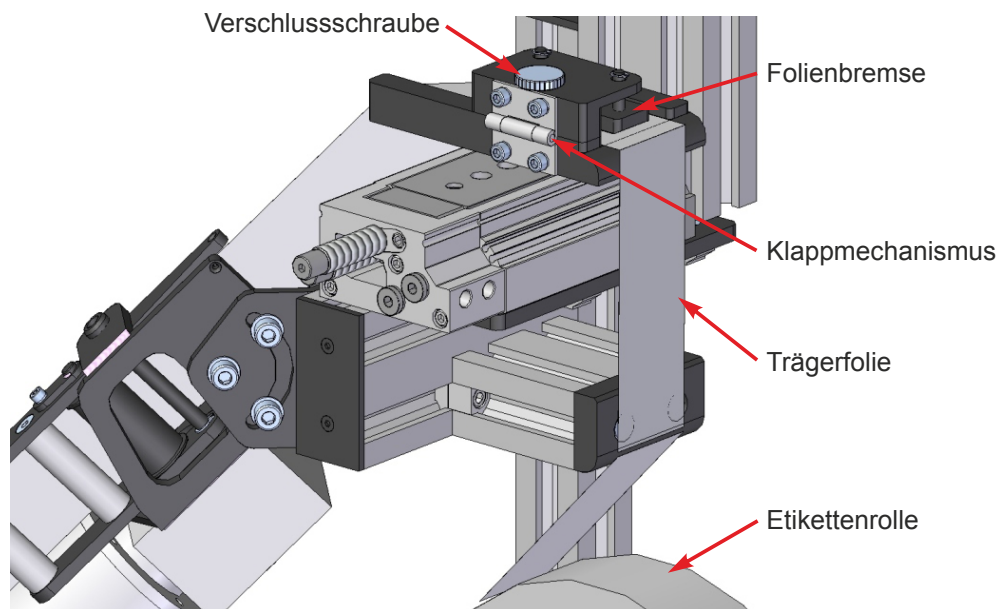


Abbildung 4.16: Abziehkante

Abbildung 4.17 zeigt den Antrieb zum Folienvorschub. Die Antriebseinheit ist mit Einrichtungsmöglichkeiten versehen, um die Trägerfolie in der korrekten Richtung über die Abziehkante ziehen zu können. Die Folie wird dabei zwischen zwei Rollen geklemmt. Die gummierte Antriebsrolle wird von einem Getriebemotor angetrieben. Die auf einem Hebel montierte Anpressrolle ist frei drehbar. Der Hebel mit der Anpressrolle wird durch eine Feder gespannt und erzeugt so die nötige Reibkraft zwischen der Folie und der Antriebsrolle. Zum Einspannen einer neuen Folie kann die Anpressrolle mit dem Hebel von der Antriebsrolle abgehoben werden. Die Trägerfolie wird in einer Auffangbox unter dem Antrieb gesammelt. Diese ist in Abbildung 4.15 nicht dargestellt.

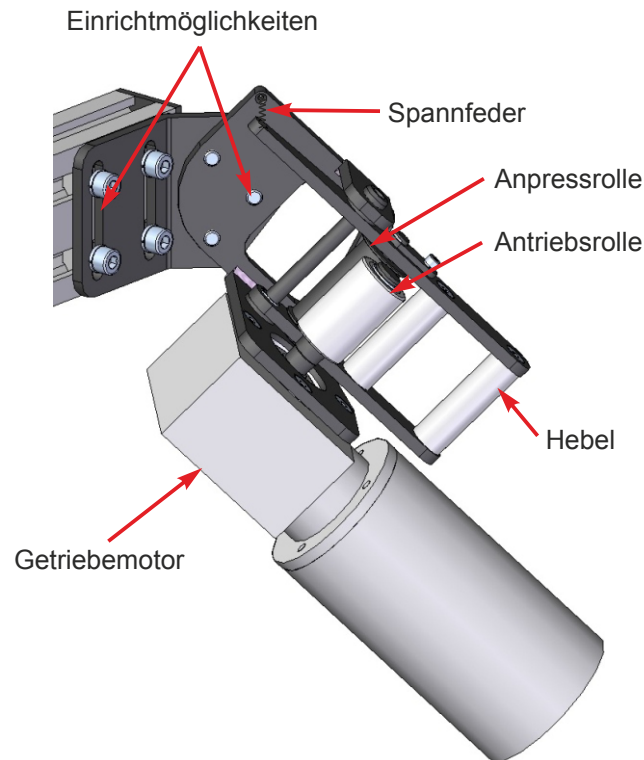


Abbildung 4.17: Antrieb Etikettstation

Funktionsbeschreibung

Die Folienrolle wird auf den Rollenhalter geschoben. Die Trägerfolie wird über die Umlenkung und die Abziehkante zum Antrieb geführt und dort zwischen Antriebs- und Anpressrolle eingespannt. Der Getriebemotor zieht die Trägerfolie solange nach, bis ein Schalter⁵ der auf der Abziehkante montiert ist die korrekte Position des vordersten Etiketts meldet. Durch die Schräge der Abziehkante ist das Etikett bei der Entnahme ca. zur Hälfte von der Folie gelöst. Daraufhin senkt sich die vertikale Achse der Pick & Place-Einheit ab und nimmt das Etikett mit dem Vakuumsauger auf. Anschließend wird das Etikett auf das Einlegeblatt geklebt. Je nach benötigter Position ist der Führungszylinder der Verschiebeeinheit dabei ein- oder ausgefahren.

4.4.10 Bohrerstation

Eine Übersicht der Bohrerstation ist in Abbildung 4.18 dargestellt. Ein Elektromagnet ist mit einem Pneumatikzylinder mit Verdrehsicherung verschraubt. Der verwendete Zylinder hat einen Hub von 160 mm. Auf den Magnet ist eine v-förmige Aufnahme geklebt, welche eine definierte Aufnahme des runden Bohrerchafts bildet. Der eingezeichnete Anschlusspunkt des Aluminiumprofils bildet die Verbindung zum Gestell.

⁵Die genaue Position dieses Schalters muss bei der Inbetriebnahme angepasst werden und ist daher in Abbildung 4.15 nicht dargestellt.

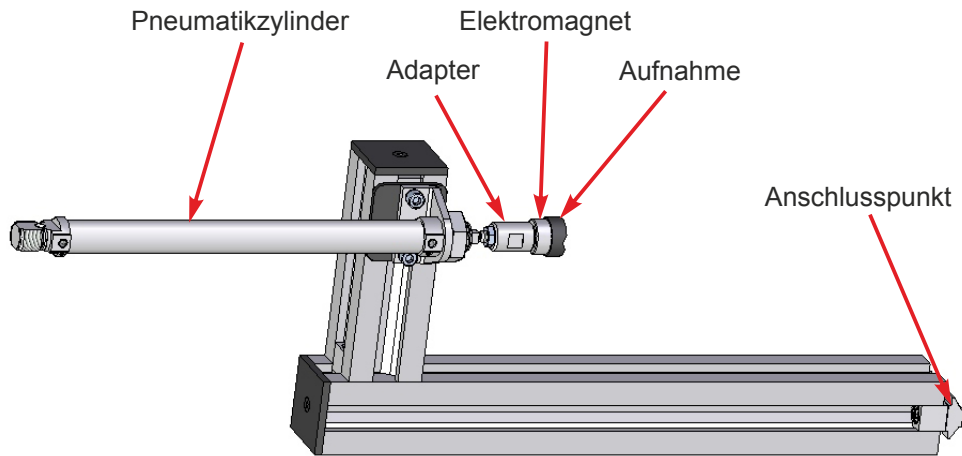


Abbildung 4.18: Übersicht Bohrerstation, Bild 90° gedreht

Funktionsbeschreibung

Ein Forstnerbohrer wird vom Industrieroboter aus einer Palette entnommen. Dazu werden die Bohrer am Bohrerkopf gegriffen. Anschließend wird der freie Schaft knapp unter dem Elektromagnet positioniert. Daraufhin wird der Magnet aktiviert und der Greifer des Roboters gibt den Bohrer frei. Der Forstnerbohrer liegt nun in der v-förmigen Aufnahme des Magneten. Der Roboter fährt im Anschluss in seine Ausgangsposition zurück. Danach fährt der Zylinder bis zu seinem Endanschlag aus. Der geringe Unterschied der Schaftdurchmesser macht eine Hubeinstellung je nach Bohrergröße nicht erforderlich. In der ausgefahrenen Position wird der Elektromagnet deaktiviert und der Zylinder fährt anschließend wieder ein.

4.4.11 Kontrollstation

Die Kontrollstation besteht aus einem Kamerasystem mit Halterung, siehe Abbildung 4.19. Der Abstand der Kamera vom Werkstückträger beträgt 380 mm. Das maximale Sichtfeld der Kamera beträgt dabei 300×191 mm. Die Halterung ist an den Anschlusspunkten mit dem Gestell verbunden.

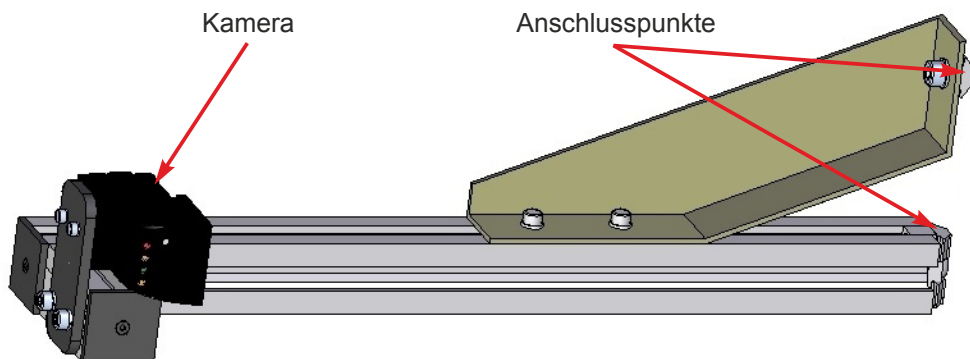


Abbildung 4.19: Übersicht Kontrollstation, Bild 90° gedreht

Funktionsbeschreibung

Das Kamerasystem vergleicht das aktuelle Bild mit einem abgespeicherten Referenzbild. Für jede Bohrergröße und jedes verwendete Einlegeblatt ist dabei ein separates Referenzbild gespeichert. Dabei können die Bereiche, die geprüft werden sollen, genau definiert werden, um bei toleranzbedingten Abweichungen z.B. des Blisters keine unberechtigte Fehlermeldung auszugeben. Weicht das Bild zu stark von der Vorgabe ab, wird eine Fehlermeldung an die Steuerung ausgegeben. Diese stoppt dann den automatischen Ablauf und die fehlerhafte Verpackung muss manuell korrigiert werden.

4.4.12 Schließstation

Die Schließstation besteht aus einer kombinierten Schwenk-Linearereinheit und einem geschweißten Hebel, der in die Mitnehmer der Werkstückträger eingreift. Abbildung 4.20 zeigt eine Übersicht der ausgeführten Schließstation. Die Schließstation ist mittels einer geschweißten Konsole mit dem Ring des Gestells verbunden.

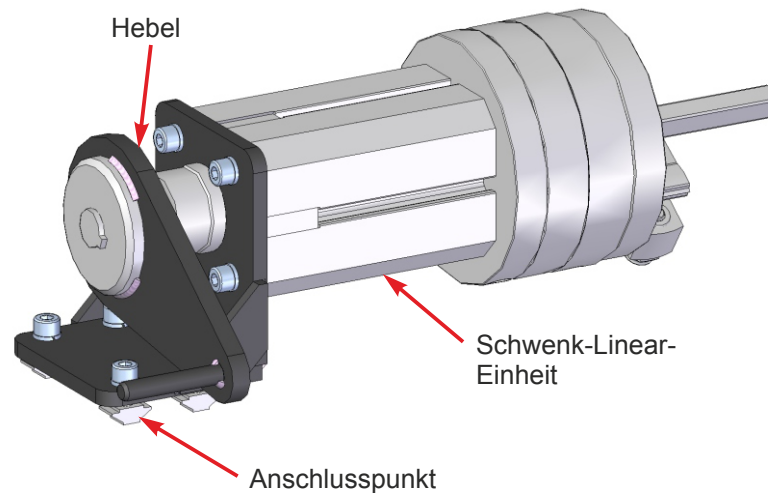
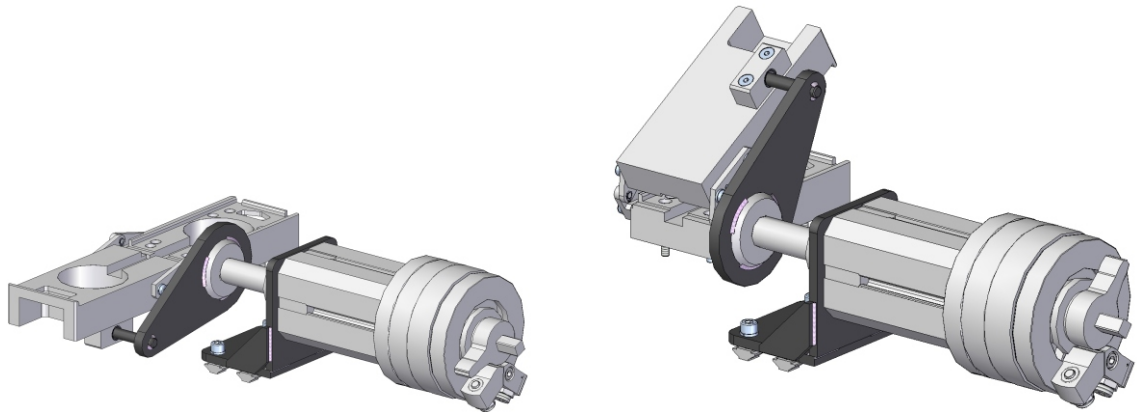


Abbildung 4.20: Übersicht Schließstation

Funktionsbeschreibung

Die Schwenk- und die Linearbewegung können unabhängig voneinander gesteuert werden. Als erstes fährt die Linearachse aus und der Hebel greift in den Mitnehmer des Werkstückträgers ein. Anschließend schwenkt die Drehachse um 180° und schließt somit den Blister. Danach schwenkt die Dreheinheit in die Ausgangsposition zurück und die Linearachse fährt ein. Abbildung 4.21 zeigt das Eingreifen des Hebels in den Mitnehmer und eine allgemeine Position des Werkstückträgers während des Schließvorgangs.



(a) Hebel greift in den Mitnehmer ein

(b) Allgemeine Position während des Schließens

Abbildung 4.21: Positionen während des Schließens

4.4.13 Schweißstation

Zum Verschweißen der Blister werden vier Ultraschallkonverter mit Schweißhörnern verwendet, die auf einer Montageplatte befestigt sind. Abbildung 4.22 zeigt eine Übersicht der Schweißstation. Die Hubbewegung führt ein Führungszylinder mit integrierten Dämpfern aus. Die Dämpfer stellen ein sanftes Aufsetzen der Schweißhörner auf dem Kunststoff sicher.

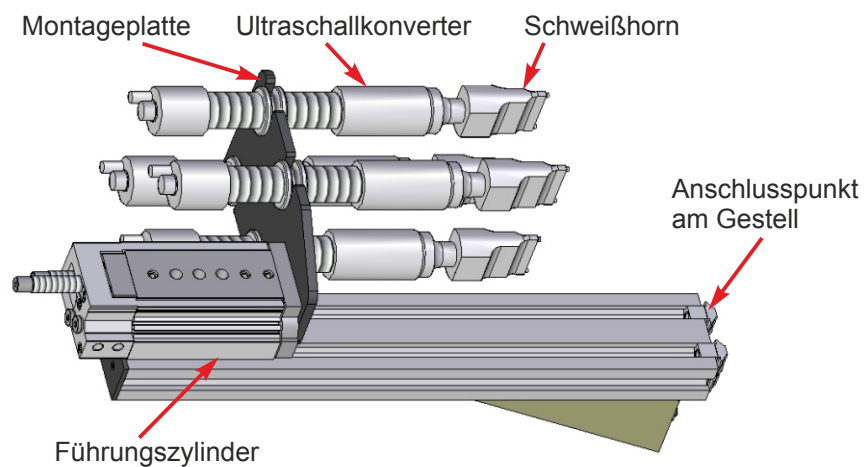


Abbildung 4.22: Übersicht Schweißstation, Bild 90° gedreht

Funktionsbeschreibung

Der Führungszylinder fährt aus und bringt die Schweißhörner damit in ihre Arbeitsposition. Nach einer Verweilzeit von ca. drei Sekunden, die eine vollständige Verschweißung gewährleistet, fährt der Zylinder wieder nach oben. Die genaue Einstellung der Schweißzeit erfolgt bei der Inbetriebnahme.

4.4.14 Auswurfstation

Die Auswurfstation besteht aus einem Führungszylinder, auf dem eine Montageplatte mit zwei verstellbaren Stößeln montiert ist, siehe Abbildung 4.23a. Der eingezeichnete Anschlusspunkt bildet die Verbindung zur Unterseite des Montagerings der Baugruppe Gestell. In den Werkstückträgern sind zwei Bohrungen vorhanden durch die die Stößel den verpackten Bohrer auswerfen, siehe Abbildung 4.23b. Eine Rutsche führt die Verpackungseinheit anschließend in eine Sammelbox. Die genaue Ausführung der Rutsche wird bei der Montage angepasst und ist daher an dieser Stelle nicht dargestellt.

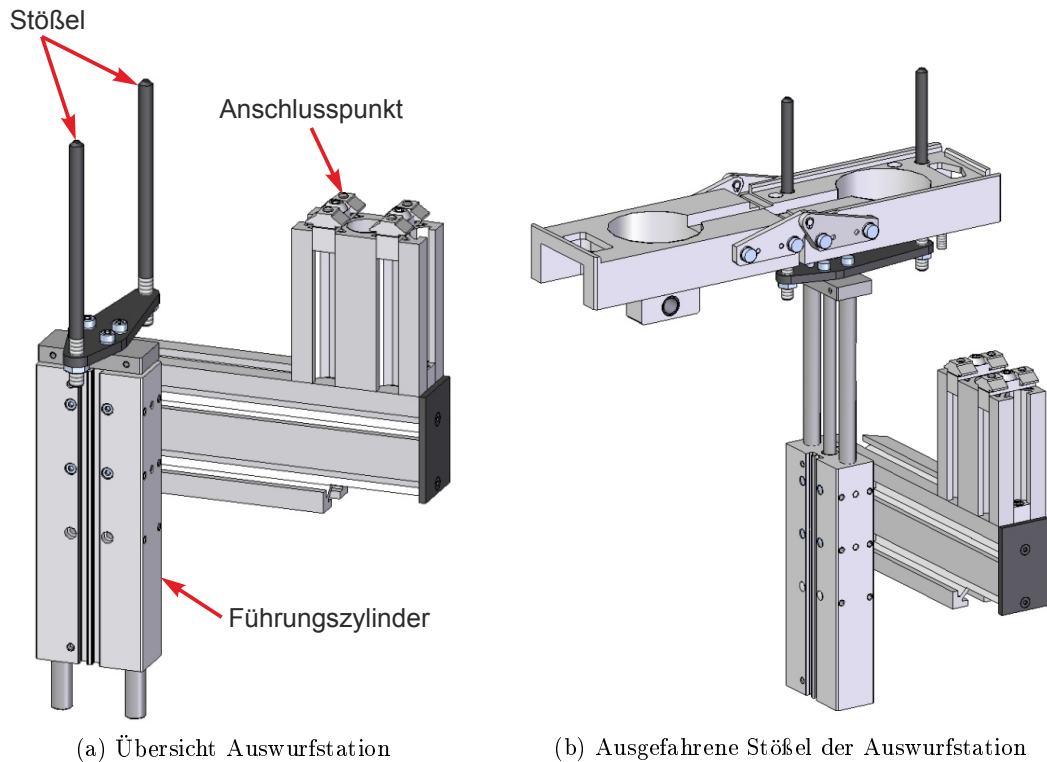


Abbildung 4.23: Auswurfstation

Funktionsbeschreibung

Der Führungszylinder fährt mit großer Geschwindigkeit aus und trifft dabei mit den Stößeln außermittig auf die Blisterverpackung. Diese wird dadurch schräg nach außen geschleudert und landet auf einer kurzen Rutsche, die in eine Sammelbox führt.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Das Ergebnis dieser Diplomarbeit sind Fertigungs- und Montagezeichnungen einer Verpackungsmaschine für die von der Firma Johann Eberhard GmbH produzierten Forstnerbohrer. Eine fertige Verpackungseinheit besteht dabei aus einem Blister, einem Einlegeblatt, einem AM-Etikett und einem Forstnerbohrer.

Zur Bewältigung dieser Entwicklungsaufgabe wurde die methodische Vorgehensweise aus VDI-Richtlinie 2222 angewendet. Die Entwicklungsaufgabe wurde dabei gemäß dem Grundsatz „Vom Groben zum Detail“ bearbeitet. Des Weiteren wurden einige der in Abschnitt 2.4 vorgestellten Methoden zur Lösungssuche angewendet.

Zu Beginn wurde die Aufgabenstellung präzisiert und eine Anforderungsliste aufgestellt. Diese Anforderungsliste bildete die Grundlage für die spätere Bewertung und Auswahl der Lösungsvarianten. Danach wurde die Aufgabe in leichter bearbeitbare Teilfunktionen zerlegt. Für diese Funktionseinheiten wurde anschließend nach Lösungsmöglichkeiten gesucht. Die Varianten, die mit der Anforderungsliste kompatibel waren, wurden einer weiteren Bewertung unterzogen. Das gewählte Bewertungsverfahren lehnte sich an der VDI-Richtlinie 2225 an. Die am besten bewerteten Konzepte wurden darauffolgend weiter ausgearbeitet, bis ein maßstäblicher Entwurf entstand. Darin waren bereits die benötigte Zukaufteile enthalten. Für diesen Entwurf wurde eine Abschätzung der Herstellkosten durchgeführt. Im Anschluss wurden Konstruktionsrichtlinien für die weitere Ausarbeitung der Fertigungsunterlagen eingeführt. Diese stellten eine ähnliche Funktionsweise der einzelnen Baugruppen und ein durchgehendes Design der Maschine sicher. In einer abschließenden Bearbeitungsphase wurden Fertigungszeichnungen für die einzelnen Bauteile und eine Liste der benötigten Zukaufteile erstellt. Zusammen mit den Montagezeichnungen bildeten sie die Grundlage für die weitere Realisierung seitens der Fa. Eberhard.

In einer späteren Erweiterung des Funktionsumfanges der Verpackungsmaschine könnten zwei Baugruppen nachgerüstet werden. Zum einen ist das die Kommissionierung der verpackten Bohrer in Versandkartons. Zu diesem Zweck muss die Auswurfstation außer Betrieb gesetzt werden. Die Blisterverpackungen können dann durch eine geeignete Handhabungseinrichtung aus dem Werkstückträger entnommen werden. Zum anderen kann ein Beschriftungslaser hinzugefügt werden. Ein dafür geeignetes mögliches Konzept wurde in Abschnitt 3 vorgestellt.

Abbildungsverzeichnis

1.1	Forstnerbohrer	8
1.2	Komponenten der Verpackungseinheit	9
1.3	Bestehende Verpackungsmaschine	10
2.1	Methodisches Vorgehen bei der Produktplanung	16
2.2	Konstruktionsphasen	17
2.3	Konstruktionsarten und Konstruktionsphasen	19
2.4	Arbeitsebenen und Arbeitsergebnisse	19
2.5	Die vier Säulen der TRIZ	24
2.6	Problemlösungsstrategie der TRIZ	25
2.7	Ordnungsschemata	27
2.8	Morphologischer Kasten	28
2.9	Verträglichkeitsmatrix	28
2.10	Beispiel einer Auswahlliste	30
2.11	Werteprofil zum Vergleich zweier Varianten mit gleicher Gesamtbewertung	32
2.12	s-Diagramm der technisch-wirtschaftlichen Bewertung	35
2.13	Zielsystem der Nutzwertanalyse	35
3.1	Ablaufdiagramm der Verpackungsmaschine mit eingezeichneten Funktionseinheiten	40
3.2	Palette mit Forstnerbohrern	42
3.3	Prinzipskizze des Magnetgreifers	44
3.4	Handlingmodule	46
3.5	Einlegeblattstapel	47
3.6	Gegenüberstellung altes und neues Schweißhorn	51
3.7	Konzeptlayout der Verpackungsmaschine	54
4.1	Stückliste der Gesamtzusammenstellung	59
4.2	Layoutplan der Verpackungsmaschine	60
4.3	Gesamtansicht des 3D-CAD-Modells der Verpackungsmaschine	61
4.4	Übersicht Palettenmagazin	63
4.5	Bestandteile der Vereinzelnung	64
4.6	Übersicht Robotersystem	64
4.7	Verwendetes Greifersystem	65
4.8	Übersicht Gestell	66

4.9	Übersicht Rundtakttisch	66
4.10	Berechnung der zu erwartenden Verformung	67
4.11	Übersicht Werkstückträger	68
4.12	Übersicht Blisterstation	69
4.13	Übersicht Euroaufhängerstation	70
4.14	Übersicht Einlegeblattstation	71
4.15	Übersicht Etikettstation	72
4.16	Abziehkante	73
4.17	Antrieb Etikettstation	74
4.18	Übersicht Bohrerstation	75
4.19	Übersicht Kontrollstation	75
4.20	Übersicht Schließstation	76
4.21	Positionen während des Schließens	77
4.22	Übersicht Schweißstation	77
4.23	Auswurfstation	78

Tabellenverzeichnis

2.1	Argumentenbilanz	32
2.2	Punktebewertungsskala	33
3.1	Verwendetes Bewertungsschema	41
3.2	Bewertung Funktionseinheit Palette	43
3.3	Bewertung Positioniermöglichkeiten beim Lasersignieren	44
3.4	Bewertung Funktionseinheit Blister	46
3.5	Bewertung Funktionseinheit Einlegeblatt	48
3.6	Bewertung der Vereinzelungsmöglichkeiten für die AM-Etiketten	49
3.7	Bewertung Funktionseinheit Schließen	50
3.8	Bewertung des Beförderungssystems	52
3.9	Bewertung Gesamtsystem	53
4.1	Zuordnung der Baugruppen zu den Funktionseinheiten aus Abschnitt 3	56
4.2	Kostenabschätzung der mechanischen Komponenten	57
4.3	Ergebnis der Kostenabschätzung	57

Literaturverzeichnis

- [1] BREIHING, A. ; KNOSALA, R.: *Bewerten technischer Systeme, Theoretische und methodische Grundlagen bewertungstechnischer Entscheidungshilfen*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1997
- [2] FESTO: *Handlingmodule HSP*. – URL http://www.festo.com/cat/de-at_at/data/doc_de/PDF/DE/HSP_DE.PDF. – Zugriffsdatum: 11.12.2011
- [3] FESTO: *Handlingmodule HSW*. – URL http://www.festo.com/cat/de-at_at/data/doc_de/PDF/DE/HSW_DE.PDF. – Zugriffsdatum: 03.11.2011
- [4] GORDON, W.: *Synectics, the Development of Creative Capacity*. New York: Harper, 1961
- [5] HELLFRITZ, H.: *Innovation via Galeriemethode*. Königstein/Ts.: Eigenverlag, 1978
- [6] HOLZMANN, D.: *Produktionsoptimierung eines bestehenden Industriestandortes*, Technische Universität Graz, Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften, Institut für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung, Diplomarbeit, 2011
- [7] IHK HEILBRONN-FRANKEN: *Die TRIZ Methode*. – URL <http://www.triz-wiki.de/wiki/DieTRIZMethode>. – Zugriffsdatum: 04.11.2011
- [8] KLEIN, B.: *TRIZ/TIPS, Methodik des erfinderischen Problemlösens*. München, Wien: Oldenburgverlag, 2007
- [9] KÜNNE, B.: *Einführung in die Maschinenelemente; Gestaltung – Berechnung – Konstruktion*. Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden: Teubner, 2001
- [10] KRAMER, F.: *Innovative Produktpolitik: Strategie - Planung - Entwicklung - Durchsetzung*. Berlin [u.a.]: Springer-Verlag, 1987
- [11] NIEMANN, G. ; WINTER, H. ; HÖHN, B.-R.: *Maschinenelemente Band 1: Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 2005
- [12] ORLOFF, M. A.: *Grundlagen der klassischen TRIZ, Ein praktisches Lehrbuch des erfinderischen Denkens für Ingenieure*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2006
- [13] OSBORN, A. F.: *Applied Imagination - Principles and Procedures of Creative Thinking*. New York: Scribner, 1957

- [14] PAHL, G. ; BEITZ, W. ; FELDHUSEN, J. ; GROTE, K.-H.: *Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung, Methoden und Anwendung*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 2007
- [15] ROHRBACH, B.: Kreativ nach Regeln - Methode 635, eine neue Methode zum Lösen von Problemen. In: *Absatzwirtschaft 12* Heft 19 (1969), S. 73–75
- [16] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: *VDI Richtlinie 2222 Blatt 1 Konstruktionsmethodik, Konzipieren technischer Produkte*. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1977
- [17] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: *VDI Richtlinie 2222 Blatt 2 Konstruktionsmethodik, Erstellung und Anwendung von Konstruktionskatalogen*. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1982
- [18] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: *VDI Richtlinie 2221 Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1993
- [19] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: *VDI Richtlinie 2225 Blatt 3 Konstruktionsmethodik, Technisch-wirtschaftliches Konstruieren*. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1998
- [20] ZANGEMEISTER, C.: *Nutzwertanalyse in der Systemtechnik*. München: Wittemannsche Buchhandlung, 1970
- [21] ZWICKY, F.: *Entdecken, Erfinden, Forschen im Morphologischen Weltbild*. München: Droemer-Knauer, 1966-1971