

# Methodische Entwicklung einer automatischen Befül- lung eines Pelletofenvorrats- behälters

Diplomarbeit an der TU Graz  
Institut für Technische Logistik



von

Boris Petrović

Graz, März 2013

---

## 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 entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am .....

.....  
(Unterschrift)

Englische Fassung:

## STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....  
date

.....  
(signature)

## Vorwort

Diese Diplomarbeit wurde zur Erlangung des akademischen Grades „Diplom-Ingenieur des Maschinenbaus“ verfasst. Sie wurde im Zuge meines Studiums an der TU Graz am Institut für Technische Logistik und in Kooperation mit der Firma HET–Energietechnik durchgeführt.

### **Auf akademischer und geschäftlicher Ebene**

- Mein erster Dank geht an meinen Betreuer, Herrn Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Landschützer für die Themenstellung und die fachliche Anweisungen, denn ohne ihn wäre die Diplomarbeit nicht in dieser Art und Weise möglich.
- Ich danke Herrn Dipl.-Ing. Thomas Bauer, dem Geschäftsführer der Firma HET–Energie, für die ausgezeichnete Zusammenarbeit.

### **Auf persönlicher Ebene**

- Ein riesiges Dankeschön gebührt meiner Familie, Dr. Nada, Ing. Nikica, Bsc. Bojan und Marinka Petrović, die mich während meines Studiums unterstützt haben.
- Ganz besonders möchte ich mich bei meiner Freundin Mag. Kristina Barasic für ihre Unterstützung in jeglicher Hinsicht bedanken. Nicht nur während dieser Zeit, sondern während der gesamten Studiendauer war sie eine wichtige Stütze.

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	II
Inhaltsverzeichnis.....	III
1 Einleitung.....	1
1.1 Pellets und Pelletöfen.....	1
1.2 Geschichte der Pellettechnik.....	3
1.2.1 Die Geburt des Pelletofens.....	3
1.2.2 Pellets in Europa.....	3
1.2.3 Auf dem Markt befindliche Pelletöfen.....	4
1.3 Die Aufgabenstellung.....	5
1.4 Vorgesehene Arbeitspunkte der Diplomarbeit.....	6
2 Problemanalyse.....	8
2.1.1 Das systematisches Vorgehensmodell zur Lösungssuche.....	8
3 Entwicklungsschritte, Grundprinzipien und Methoden zur Lösungssuche.....	10
3.1 Konstruktion.....	10
3.1.1 Ziele des Konstruierens.....	10
3.1.2 Tätigkeiten beim Konstruieren.....	10
3.1.3 Konstruktionsphasen.....	12
3.2 Methode zur Lösungssuche.....	13
3.3 Die Suche nach Konzeptlösung –VDI-Richtlinie 2221.....	15
3.3.1 Konstruktionsphase: Aufgabenklärung.....	17
3.3.2 Konstruktionsphase: Konzipierung.....	17
3.3.3 Konstruktionsphase: Entwurf.....	17
3.3.4 Konstruktionsphase: Ausarbeitung.....	17
4 Methodisches Konstruieren nach VDI 2221.....	18
4.1 Lasten- und Pflichtenheft.....	18
4.2 Phase I: Die Anforderungsliste.....	18
4.3 Phase II: Konzepterstellung.....	20
4.3.1 Das Konzept.....	20
4.3.1.1 Konzeptvariante I:.....	20
4.3.1.2 Konzeptvariante II:.....	21
4.3.1.3 Konzeptvariante III:.....	21
4.3.2 Die Black-Box.....	22
4.3.3 Ermitteln von inneren Funktionen und deren Strukturen.....	23
4.3.4 Kombination der Teilfunktionen.....	24
4.3.5 Die Wirkmodelle und die prinzipiellen Lösungen.....	26
4.3.5.1 Auswahl und Bewertung der Automatisierung.....	27
4.3.5.2 Die Liste der Wirkprinzipien und Lösungsmöglichkeiten.....	28
4.3.5.3 Auswahl und Bewertung der Lösungsmöglichkeiten.....	29
4.3.6 Die Versuchsdurchführung: Pelletsack durchschneiden.....	31
4.3.7 Der Morphologische Kasten.....	38
4.3.8 Prinzipielle Lösung.....	40
4.4 Phase III: Entwerfen.....	42
4.4.1 Automatische Deckel – BLUM-Lösung.....	42

---

4.4.2	Schlitten.....	44
4.4.3	Die Automatisierung des Schlittens–IGUS-Lösung .....	45
4.4.3.1	NEMA 23-Motor.....	46
4.4.3.2	Steuerung .....	46
4.4.4	Teleskopschienen.....	48
4.4.5	Automatisches Schneidsystem.....	48
4.4.6	Die Beschreibung des Gesamtentwurfes.....	49
4.4.7	Die Darstellung des fertigen Produktes .....	52
4.5	Phase IV – Ausarbeiten.....	55
4.5.1	Die Komponenten-Berechnung.....	55
4.5.2	Temperatureinfluss .....	60
4.5.3	Die Beschaffungsliste .....	60
4.5.4	Die Betriebsanleitung .....	60
5	Zusammenfassung .....	61
6	Verzeichnisse.....	63
6.1	Literaturverzeichnis .....	63
6.2	Abbildungsverzeichnis.....	65
6.3	Tabellenverzeichnis .....	66
7	Anhang .....	67
7.1	Anhang A – veröffentlichter Kurzttext .....	67
7.1.1	A1 Deutsch.....	67
7.1.2	A2 Englisch.....	68
7.2	Anhang B – Zusatzinformationen .....	69
7.2.1	Die Beschaffungsliste.....	69
7.2.2	Das Motordatenblatt – NEMA 23.....	70
7.3	Anhang C – Pelletpreis.....	71
7.4	Anhang D – 2D Baugruppenzeichnungen .....	72

# 1 Einleitung

Die Angst vor den ständigen Energiepreiserhöhungen, die Abhängigkeit von Öl- und Gaskonzernen und die Umweltkatastrophen zwingen uns zur Nutzung von umweltfreundlichen und preisgünstigen Energiequellen. Bei der Verbrennung von Holz entsteht die gleiche Menge des Klimagases Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), wie der Baum im Laufe des Wachstums aufgenommen hat. Aufgrund dieser Tatsache hat das Heizen mit Holzpellets in den vergangenen Jahren eine respektable Zunahme verzeichnet. Durch das Heizen mit Holzpellets werden die Heizkosten reduziert, da der Pelletpreis deutlich niedriger ist als der Preis für Strom, Flüssiggas oder Heizöl (siehe im Anhang). Außerdem wird die Wirtschaft durch die Verwertung und Aufbereitung des heimischen Holzes gestärkt und die Abhängigkeit von den Öl- und Gasexportländern wird reduziert.

Im Laufe der Zeit wurde der Pelletmarkt immer weiter ausgebaut und dadurch waren die Pelletofenproduzenten angehalten ständig neue innovative Konzepte zu entwickeln. Die Firma „Het-Energy“ hat dieses Potenzial erkannt und beschäftigt sich seit der Jahrtausendwende mit der Problematik der Pelletverbrennung. Die technischen Lösungen finden sich bei mehreren erfolgreichen Heizgeräteherstellern. Für die Firma „Het-Energy“ soll im Rahmen dieser Diplomarbeit ein Nachfüllungsprozess des Pelletofens erfunden und untersucht werden, wobei der Schwerpunkt auf einer staubfreien und einfachen Nachfüllung des Pelletbehälters liegt.

## 1.1 Pellets und Pelletöfen

Pellets sind kleine zylinderförmige Körper aus verdichtetem Material, in unserem Fall aus getrockneten Hobel- und Sägespänen. Die Pellets werden in 15-kg-Säcken (Höhe:570mm; Breite:400mm; Tiefe:150mm) abgepackt.

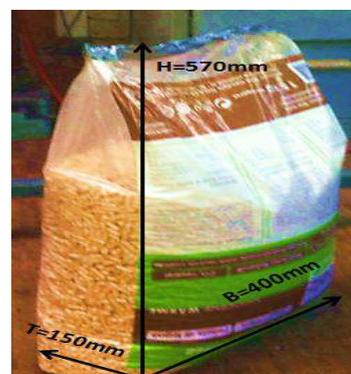


Abbildung 1-1: Pellets

Wie alle anderen Brennstoffe sind auch Holzpellets durch die EU-Normen (EN) geregelt. Die Holzpellets sind in den EN 14961-1 und EN 14961-2 normiert und folgende wichtigen Eigenschaften sind in den EU-Normen festgelegt [ÖNO09] :

- Durchmesser: 6 mm
- Länge: 5 bis 30 mm (20 % bis 45 mm)
- Oberfläche: glatt
- Dichte: min. 1,12 kg/dm<sup>3</sup>
- Schüttgewicht: min. 650 kg/m<sup>3</sup>
- Energieinhalt: min 4,6 kWh/kg
- Wassergehalt: max. 10 %
- Aschenanteil: max. 0,5 %
- Staubanteil (vor dem Transport): max. 1 %
- Bindemittel: verboten
- Verunreinigungen: keine



**Abbildung 1-2: Der Pelletofen von der Firma Rika**

Quelle: <http://www.rika.at/de/como/>

Der Pelletofen wird direkt in einen dafür vorgesehenen Raum, z. B. im Wohnzimmer platziert und besitzt einen im Ofen integrierten Pelletbehälter. In erster Linie wird der Ofen als Energiequelle genutzt. Ein Pelletofen funktioniert halb automatisch und die Zufuhr des Brennstoffes zur Brennkammer aus dem inte-

grierten Behälter erfolgt automatisch, deshalb findet die Befüllung des Vorratsbehälter nur einmal täglich oder sogar alle paar Tage statt. Dieses Heizmodell ist eine gute Alternative zu Kaminöfen, zur Stromheizung sowie Gas- oder Ölheizung, und es ist zu erwarten, dass Holzpellets auch in Zukunft eine günstige Energieform bleiben werden.

## 1.2 Geschichte der Pellettechnik

### 1.2.1 Die Geburt des Pelletofens

Schon seit Jahren stellt sich folgende Frage: *„Wie könnte CO<sub>2</sub>-neutrales Holz verbrannt werden, die Feuerung aber dabei automatisch und komfortabel betrieben wird wie eine Gas- oder Ölheizung?“* [JAN04]

Jerry Whitfield, ein Flugingenieur bei der Firma Boeing, hatte eine Vision. In den späten siebziger Jahren kam ihm die brillante und einfache Idee, überflüssige und nutzlose Sägespäne zu kleinen zylinderförmigen Körpern zu pressen, und so entstanden die sogenannten Pellets. Die Pellets wurden in Brennern exakt dosiert und dort verbrannt, daher wurde diese Idee anfangs nur in industriellen Feuerungsanlagen verwendet. Erst einige Jahre später, im Jahre 1983, präsentiert Jerry Whitfield den ersten Wohnzimmer-Pelletofen. Diese Erfindung erwies sich als sehr erfolgreich und einzigartig. Ein weiterer Vorteil war die sinnvolle Ausnutzung der Pellets, die früher in Großanlagen verbrannt wurden. (vgl. [JAN04] )

### 1.2.2 Pellets in Europa

Die Vorreiterländer der Pelletfeuerung in Europa sind Schweden und Dänemark. Historisch betrachtet nutzen diese Länder schon seit mehreren Jahrzehnten Holz als primäre Energiequelle. Im Jahre 1982 haben die Schweden die ersten Pellets produziert, jedoch nur für Industriezwecke und große Heizwerke. (vgl. [JAN04] )

In Mitteleuropa ist Österreich eines der wenigen Ländern, die frühzeitig die Vorteile der Pelletnutzung erkannt haben, indem ein Hersteller von Holzbriketts erstmals im Jahre 1994 Holzpellets aus Schweden importierte, was somit als Geburtsjahr der Holzpellets in Österreich gilt (vgl. [BUN11] ; [JAN04] ). Abbildung 3 zeigt die Entwicklung der österreichischen Pelletindustrie und des Pelletmarktes von 1999 bis heute. Abschließend ist ersichtlich, dass die Pelletproduktion sowie der Pelletverbrauch in den letzten Jahren konstant zugenommen haben.

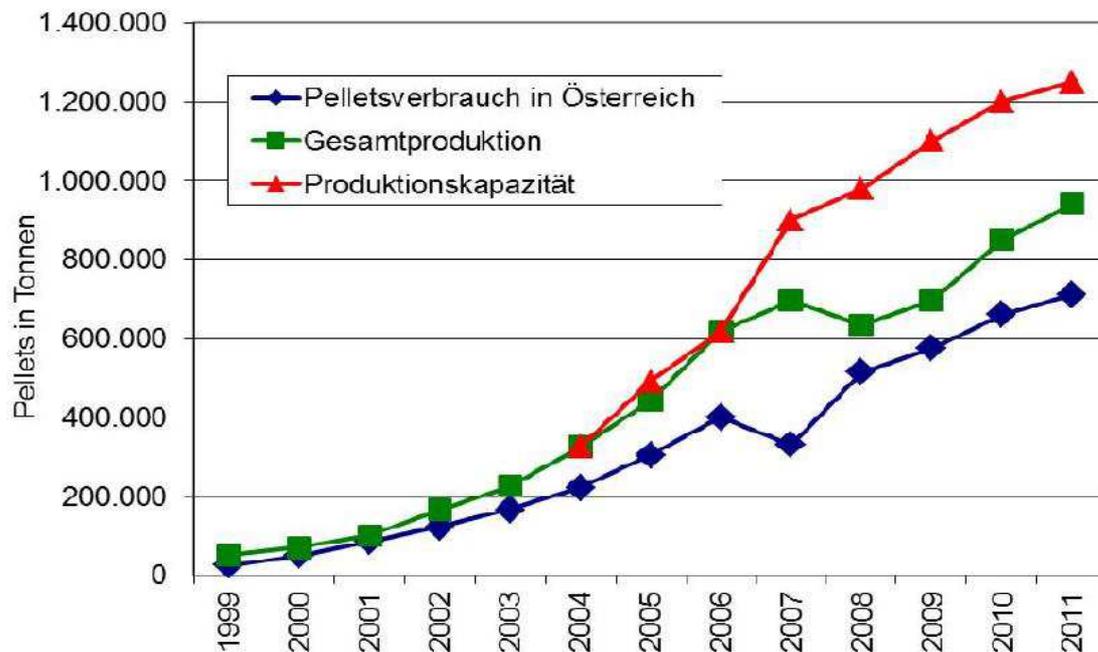


Abbildung 1-3: Kenngrößen der österreichischen Pelletindustrie und des Pelletmarktes.  
Quelle: ProPellets Austria (2012)

Das Heizen mit Kohle hat in den letzten Jahren aufgrund der hohen Umweltverschmutzung ein schlechtes Image erhalten und verzeichnet dadurch ständig negative Zahlen, wobei die erneuerbaren Energieträger, wie Pellets und Hackschnitzel, davon profitieren. Der Gesamteinsatz von Pellets und Hackschnitzel stieg von 2007/2008 auf 2009/2010 um weitere 15 % und liegt jetzt mit 4,1 % am Gesamtenergieverbrauch der Haushalte deutlich vor dem der Kohle (0,8 %) [STA11].

### 1.2.3 Auf dem Markt befindliche Pelletöfen

Die auf dem Markt befindlichen Pelletöfen sind in diversen Ausführungen erhältlich. Abhängig vom Hersteller und der Größe sind Pelletöfen in einem Leistungsbereich von 5 kW bis zu 15 kW erhältlich. Ein Pelletofen wird zur Erwärmung einzelner Räume und als Hauptwärmequelle für das ganze Haus oder die Wohnung verwendet werden. Die Wärme wird fast bei allen Pelletöfen durch eine Kombination von Strahlungs- und Konvektionswärme an den Raum, in dem sich der Ofen befindet, abgegeben. Die Strahlungswärme wird durch die Glastür an der Vorderseite des Ofens an Raum übertragen, während die Seitenwände vorbeiströmende Luft durch die Konvektion erwärmen. Der Vorratsbehälter muss in regelmäßigen Intervallen händisch mit den Pellets aus dem Polyäthylen-Beutel befüllt werden, was auch während des Betriebs möglich ist. Die Brenndauer ist vom Heizbedarf abhängig und beträgt ca. 24 bis 100 Stunden. Außerdem kann die Wärmeregulation auf drei verschiedene Arten erfolgen, entweder über direkte Steuerung am Gerät, oder über einen Thermostatregler, welcher sich an der Wand befindet, aber auch von unterwegs per Handy oder Festnetz. (vgl. [CHR12] [RIK12]).

### 1.3 Die Aufgabenstellung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit sollten in erster Linie Ideen und Konzepte für die leichte und staubfreie Nachfüllung des Vorratsbehälters entwickelt und im Labor untersucht werden. Die Suche nach Ideen und Konzepten erfolgt nach der aufgestellten Anforderungsliste. Die Anforderungen werden nach der zu erfüllenden Funktionen und Funktionsstrukturen aufgeteilt und so werden die technisch realisierbaren Lösungsprinzipien ermittelt. Diese Lösungsprinzipien werden nach den Methoden Vorteil-/Nachteil-Vergleich, Auswahlliste und Paarweiser Vergleich bewertet. Nach der Bewertung wird eine Entscheidung getroffen und die beste Idee weiterverfolgt und detailliert untersucht. Beim nächsten Schritt soll untersucht werden, ob in dem Vorratsbehälter genügend Platz für einen Reservebehälter mit einem Volumen von circa 5 kg vorhanden ist.

In Abbildung 1-4 ist ein von der Firma HET konstruierter Ofen und Vorratsbehälter dargestellt. Wie bei allen anderen am Markt verfügbaren Pelletöfen befindet sich auf der Oberseite des Pelletofen die Klappe des Vorratsbehälters. Der Vorratsbehälter wird mit den Pellets aus dem Polyäthylen-Beutel befüllt und mittels der Förderschnecke werden die Holzpellets in die Brennkammer befördert. In Abbildung 1-5 wird der Nachfüllprozess anhand zwei Skizzen veranschaulicht. Auf Basis der nachfolgenden Konstruktion wurden die vorher genannten Untersuchungen durchgeführt. Die Überführung und Verbrennung des Brennstoffes und Steuerung und die Regelung des Prozesses wird nicht im Rahmen dieser Arbeit behandelt.

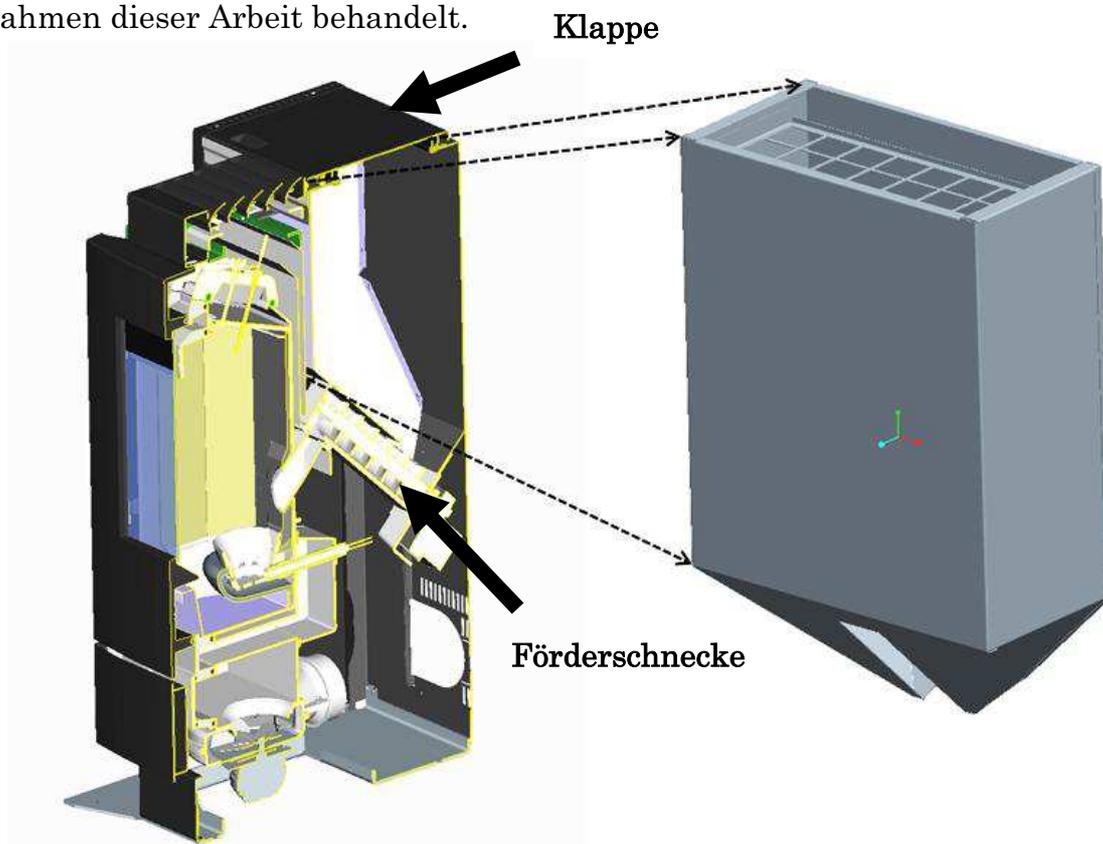
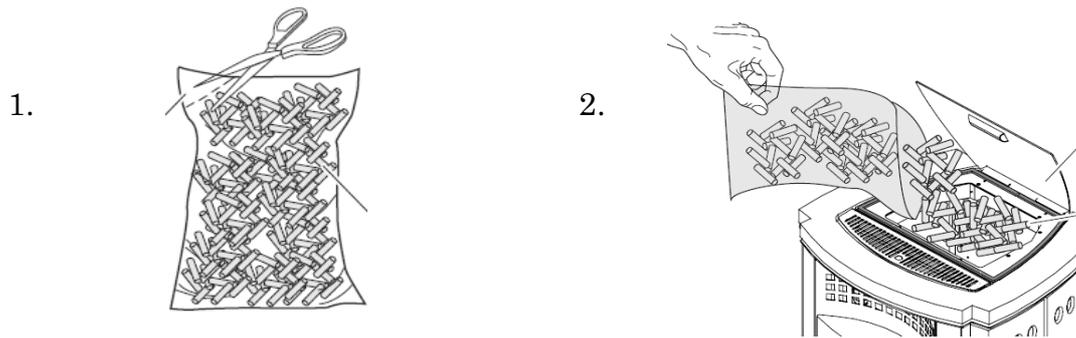


Abbildung 1-4: HET – Pelletofen und Vorratsbehälter



- Klappe am Pelletbehälter aufmachen.
- Eine Ecke des Pelletsacks aufschneiden.
- Nicht zu viele Pellets in den Vorratsbehälter füllen, die Klappe muss sich dicht verschließen lassen.

Abbildung 1-5: Vorratsbehälter Nachfüllen

## 1.4 Vorgesehene Arbeitspunkte der Diplomarbeit

Die im Rahmen dieser Diplomarbeit durchzuführenden Aufgaben beinhalten:

### 1. Erhebung des Ist-Zustandes

In erste Linie soll eine Anforderungsliste nach ausführlichen Gesprächen mit der Firma HET gestellt werden, die als Grundlage für die Produktentwicklung dienen sollen.

### 2. Literaturstudium zu methodischer Konstruktion

Um überhaupt mit dem Konstruieren beginnen zu können, müssen eine oder mehrere passende Methoden für die Entwicklung und Konstruktion technischer Produkte gefunden werden.

### 3. Systematische Lösungssuche

Als Ergebnis des ersten und zweiten Punktes werden mehrere Entwürfe erstellt, die eine potenzielle Lösung darstellen können. Als nächstes wird die Bewertung aller Konzepte durchgeführt und aufgrund dieser Ergebnisse wird entschieden, welcher Entwurf weiterverfolgt werden soll. In dieser Phase wird das gewählte Konzept soweit erläutert, dass im nächsten Schritt mit den Laborversuchen begonnen werden kann.

### 4. Detaillierung des Konzeptes

In weiterer Folge sollen die Ergebnisse der Laborversuche dazu verwendet werden, um das Konzept genauer zu beschreiben sowie systematisch und methodisch weiterzuentwickeln und im CAD-System abzubilden.

**5. Präsentation und Dokumentation der Ergebnisse**

Im Lauf der Erstellung dieser Diplomarbeit sind mehrere Zwischenpräsentationen vorgesehen, wobei der Fokus auf die methodische und systematische Entwicklung des Produktes gelegt wird. Die Erkenntnisse dieser Diplomarbeit sollen in weiterer Folge für die Aufstellung und Planung eines Folgeprojektes verwendet werden.

## 2 Problemanalyse

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf der Konzeptentwicklung für die Pelletnachfüllung und in der Art und Weise, wie der Vorratsbehälter mit den Holzpellets ergonomisch nachgefüllt werden kann. Die Ästhetik ist ebenfalls besonders wichtig, da die Konstruktion sowohl die primäre Funktion „staubfreie und ergonomische Nachfüllung“ erfüllen als auch dem Interieur des Zimmers entsprechen soll. Abschließend erfolgt eine Beschreibung der Komponenten, die für die Konstruktion benötigt werden.

### 2.1.1 Das systematisches Vorgehensmodell zur Lösungssuche

Der Problemlösungsprozess bei der Entwicklung und Konstruktion eines technischen Produktes ist nach VDI-Richtlinie 2221 in die Lebensphasen Systemvorstudien, Systementwicklung, Systemherstellung, Systemeinführung, Systembetrieb und Systemwechsel gegliedert. In jeder Lebensphasen kann das systematische Vorgehen nach den Arbeitsschritten Problemanalyse, Problemformulierung, Systemsynthese, Systemanalyse, Systemanalyse, Beurteilung sowie Entscheidung, wie in Abbildung 2-1 veranschaulicht, durchgeführt werden.

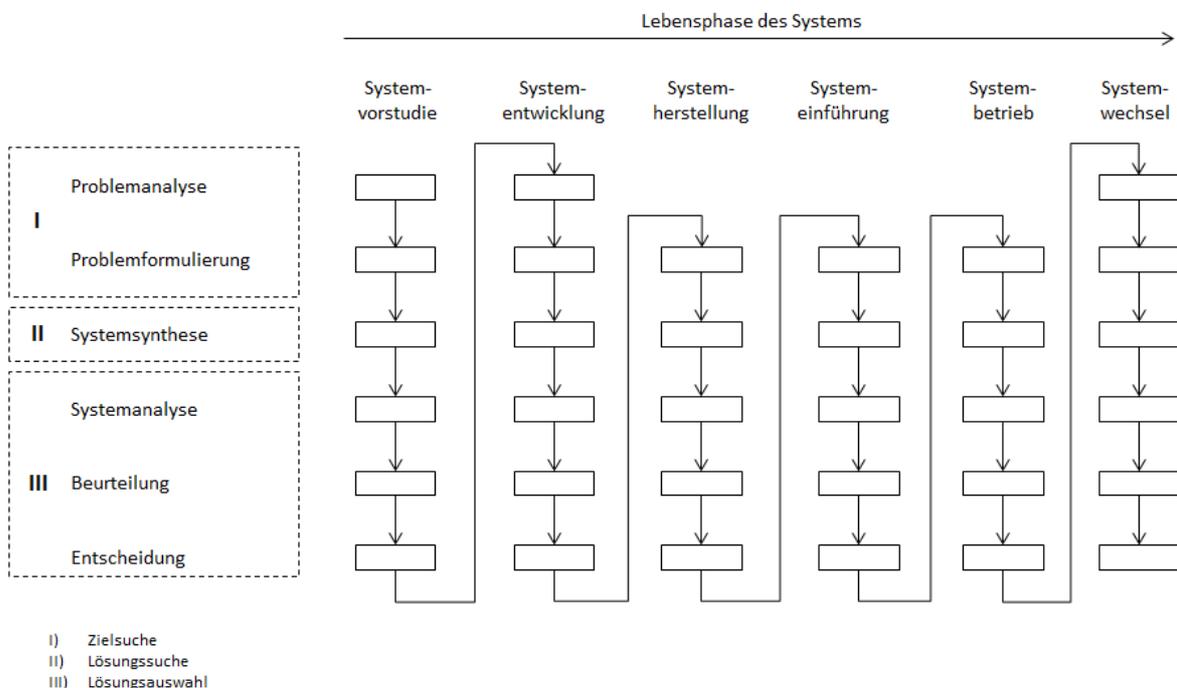


Abbildung 2-1: Systematisches Vorgehensmodell in unterschiedlichen Lebensphasen des Systems in Anlehnung an [VDI93] und [EHR95]

Die Ergebnisse der systematischen Betrachtung lassen sich direkt auf den Produktionsprozess übertragen. Ein Produkt durchläuft die Phasen Produktplanung, Entwicklung/Konstruktion, Fertigung, Vertrieb, Nutzung und Recycling. Entscheidend für den gesamten Produktionsprozess ist die Entwicklung- bzw. Konstruktionsphase, da die gewonnenen Ergebnisse und Erfahrungen aus den Vor- und Nachphasen für die Entwicklung bzw. Konstruktion von zentraler Bedeutung sind. Die Produktphasen sowie Systemphasen werden in Abbildung 2-2 schematisch dargestellt.

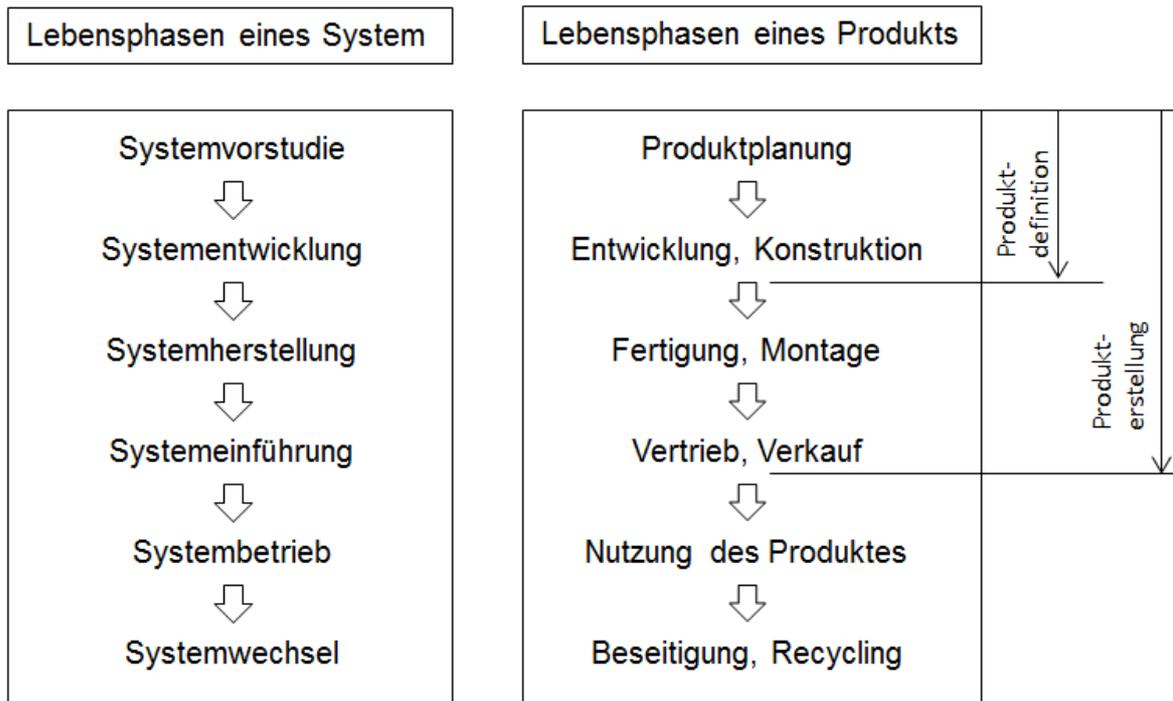


Abbildung 2-2: Lebensphase eines System (links) und eines Produktes (rechts).

## **3 Entwicklungsschritte, Grundprinzipien und Methoden zur Lösungssuche**

In der Aufgabestellung und der Problemanalyse wurden die allgemeinen Grundfunktionen der Pelletofen erläutert sowie ein kurzer Überblick über die aktuelle Marktsituation vom Pellet gegeben. Aus der Aufgabenstellung und der Anforderungsliste wurde das Konzept formuliert und im Anschluss an diese beginnt die Konzeptphase der Produktentwicklung. Die Anfangsphase der Konzeptsuche beschäftigt sich mit der Analyse des Problems und den Wirkprinzipien. Anschließend wurden verschiedene Methoden zur Lösungssuche für die Wirkprinzipien unter der Beachtung der produktspezifischen Randbedingungen gefunden. Der Prozess für die Lösungssuche, die Entwicklung und die Konstruktion wird auf der Basis „VDI 2221 – Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ durchgeführt. (vgl. [EHR95]).

### **3.1 Konstruktion**

#### **3.1.1 Ziele des Konstruierens**

Das Ziel des Konstruierens wird aus dem Unternehmensziel abgeleitet und in weiterer Folge wird das Unternehmensziel mit dem Produkterfolg verbunden. Ein Produkt muss für längere Zeit am Markt konkurrenzfähig sein, d. h. dass das Produkt bestimmte Eigenschaften, beispielsweise gute Ergonomie, hohe Qualität oder Prestige in der Gesellschaft bieten soll. Außerdem soll sich das Produkt vom anderen Konkurrenzprodukt unterscheiden, damit die Kunden schlussendlich Geld für das Produkt ausgeben (vgl. [EHR95]).

Die Ziele des Konstruierens sind demzufolge die Erfüllung der Ansprüche und die Befriedigung der Bedürfnisse der Kunden und des Marktes, wobei die hohe Qualität von elementarer Bedeutung ist. Unter Qualität wird die Annäherung der Ist-Eigenschaften an die Soll-Eigenschaften verstanden. Neben der Qualität sollen auch weitere Ziele, wie die Kosten von Produkten ausschlaggebend sein, und die Prozesse und Ressource sollen ebenfalls auf hohem Niveau gehalten werden (vgl. [EKL07]).

#### **3.1.2 Tätigkeiten beim Konstruieren**

Die (verbale oder schriftliche) Aufgabestellung stellt den Kern des Konstruierens eines neuen Produktes dar. Das Produkt wird aufgrund erhaltener Informationen aus der Aufgabestellung materiell realisiert. Ausgehend von der gestellten Aufgabe werden in stufenweisen Verfahren die Dokumentationen für

ein neues Produkt erarbeiten, um mit dem Problem bewusst zu werden. Dabei werden folgende Grundtätigkeiten unterschieden:

- Anforderungen analysieren
- Lösungen suchen und gestalten

und begleitende Tätigkeiten:

- sich informieren
- ordnen

Tätigkeit		Zugehörige bzw. verwandte Begriffe	Hilfen		
Grundtätigkeiten	1	Anforderungen klären	Aufgabe klären, Ziele erkennen, Anforderungen, Restriktionen erkennen	Checklisten, Bewertungsverfahren, Schwachstellenanalyse	
	2	Prinzipielle Lösung suchen	Konzept, Funktionsprinzip suchen	Checklisten, Kataloge, Literatur, Erfahrung	
	3	Gestaltprinzipien suchen	Lösungen suchen	Beweisen, Anforderungsprinzip, Halbzeuge	Checklisten, Kreativmethoden, Literatur, Patentliteratur
	4	Gestalterische Lösung suchen		Lösungen gestalten, Lösungen, Oberfläche, Toleranz suchen	Gestaltungsregeln, ähnliche Konstruktionen, Diskussion, Beratung
	5	(Werk-)Stoff suchen		Betriebs-, Hilfsstoffe, Halbzeuge	Werkstoffnormen, Kataloge, Handbücher
	6	Fertigungsger. gestaltete Lösungssuche	Lösung auswählen	Fertigungs-, montage- und normgerecht gestalten	Normen, Gestaltungsrichtlinien, Beratung, ähnliche Vorbilder
	7	Berechnen		Voraus-, Nachrechnen, Auslegen, Dimensionieren, Kalkulieren, Abschätzen	Berechnungsformeln und -Modelle, Berechnungssoftware
	8	Experimentieren		Probieren, Testen, Simulieren, Versuchen	Versuchs- und Messtechnik, Modelltechnik, Modellwerkstatt, Rapid Prototyping
	9	Beurteilen	Bewerten, Auswählen, Vergleichen, Entscheiden, Festlegen	Erfahrung, Bewertungstechniken, FMEA, Teambesprechung	
	10	Grafisch darstellen	Darstellen	Skizzieren, Zeichnen, Dokumentieren, Darstellen	Darstellungstechniken, Zeichnungsregeln und -normen, CAD
	11	Textlich darstellen		Schreiben, Stücklisten erstellen, Beschriften, Dokumentieren	CAD, Textsystemen
Begleitende Tätigkeiten	12	Sich informieren	Informationen suchen, auswerten	Info-Datenbank, Kataloge, Normen, Richtlinien, Berichten, Zeichnungen, Bücher	
	13	Strukturen	Ordnen, Analysieren, Systematisieren, Identifizieren, Klassifizieren, Sortieren	Ordnungssysteme, Klassifikationstechniken, Nummernsysteme	
	14	Prüfen	Messen, Testen, Vergleichen	Checklisten, Fragebögen, Softwareprogramme, Qualitätssicherungssysteme	
	15	Ändern	Ausbessern, Verbessern, Korrigieren,	Erfahrung, Optimierungsprogramme, Regeln	
	16	Organisieren	Planen, Überwachen, Steuern	Projektmanagement, Organisationslehre	
	17	Kommunizieren	Diskutieren, Nachfragen, Schreiben, Formulieren, Verstehen	E-Mail, Telefon, Sprachkenntnisse, Vortragstechniken, Besprechungen, Moderationstechnik	

Tabelle 3-1: Grundtätigkeiten und begleitende Tätigkeiten beim Konstruieren (Quelle: [EHR95])

Die Grundtätigkeiten dienen als Ausgangspunkt für das Konstruieren, während begleitende Tätigkeiten für den Informationsaustausch notwendig sind. In Abbildung 3-1 sind Grundtätigkeiten und begleitende Tätigkeiten dargestellt (vgl. [EHR95]).

### 3.1.3 Konstruktionsphasen

Das systematische Vorgehensmodell (Abbildung 2-1) setzt sich aus sechs Schritten zusammen, die wieder in die Arbeitsschritte Zielsuche, Lösungssuche und Lösungsauswahl untergeteilt werden. Aus dem Vergleich des systematischen Vorgehensmodells und den Grundtätigkeiten (Tabelle 3-1) geht hervor, dass die Grundtätigkeiten dem Vorgehensmodell entsprechen. Die Grundtätigkeiten aus Kapitel 3.1.2 werden im Konstruktionsprozess, in sogenannten Konstruktionsphasen, gesammelt:

- Aufgabe klären
- Konzipieren
- Entwerfen
- Ausarbeiten (vgl. [VDI73])

Die vier Konstruktionsphasen verlaufen parallel zum Entwicklungsprozess (siehe Abbildung 3-1) und beinhalten wichtige Daten und Informationen für die weiteren Untersuchungen. Klare Trenngrenzen zwischen den Phasen sind nicht einfach herauszufinden und somit ist eine starre Einhaltung der Grenzen nicht möglich (vgl. [VDI93]). In der Tabelle 3-2 ist ein prozentualer Überblick über die zeitliche Häufigkeit jeder Konstruktionsphasen veranschaulicht.

Phase	Tätigkeit	Häufigkeit
<b>Aufgabe klären</b>	Aufgabe analysieren, strukturieren und formulieren	???
<b>Konzipieren</b>	Funktionen ermitteln und strukturieren, Lösungsprinzipien suchen und strukturieren	0-10 %
<b>Entwerfen</b>	Gestalten 17 % Berechnen 4 % Informieren 8 %	20-40 %
<b>Ausarbeiten</b>	Zeichnen 30 % Ändern 10 % Stücklisten erstellen 10 % Kontrollieren 6 %	50-60 %
<b>Sonstiges</b>	Schriftwechsel, Verkaufsunterstützung	10-20 %

Tabelle 3-2: Zeitliche Häufigkeit von Phasen und Tätigkeiten in Konstruktionsabteilungen (Quelle: [EHR95])

### 3.2 Methode zur Lösungssuche

Bereits seit mehreren Jahren durchleuchten Ingenieure das Phänomen der Konstruktion als originelle menschliche Aktivität. Der Konstruktionsprozess wird in der Wissenschaft durch unzählige Modelle und Methoden dargestellt. In der Tabelle 3-3 werden die situativen Bedingungen sowie die empfohlene Methode zur Ideenfindung aufgezeigt. Im Hinblick auf sämtliche Problemkonstellationen soll gezeigt werden, welche Arten von Methoden existieren und wie diese in Verwendung gebracht werden können. Die Empfehlungen dienen als Leitfaden zur Lösungssuche und keinesfalls als verbindliche Methoden für die Problemlösung, wobei eine „nicht geeignete“ Methode ebenfalls erstklassig Resultate liefern kann (vgl. [SCH89] ).

Situative Bedingung		Empfohlene Methoden
Verfügbare Zeit	knapp	BS, 635, RWA
	reichlich	SY, MK, MM, AL, PLB
Teilnehmerzahl der Problemlösungsgruppe	1 bis 4	MK, MM, PLB, AL
	5 bis 8	BS, 635, SY, RWA
Beziehung der Gruppenmitglieder zueinander	vertraut	alle Methoden
	fremd	Vorsicht mit SY
Spannungen, Konflikte zwischen den Gruppenmitgliedern zu befürchten		635
Erfahrungen mit Methoden zur Ideenfindung	wenig	BS, 635, AL, RWA, PBL
	Gute	MK, MM, SY
Verfügbare Arbeitsmittel (Pinnwände usw.)	vollständig	MK, MM, AL, PLB, SY, RWA
	keine	BS, 635
Problemkenntnis der Gruppenmitglieder	Fachleute	MK, MM, PLB
	heterogen	BS, 635, RWA, SY, AL
Ideenurheberschaft	nachzuweisen	635
	gleichgültig	Alle andere Methoden

Zuordnung auf einige wichtige Methoden zur Ideenfindung beschränkt			
Es bedeutet:			
BS	= Brainstorming	MK	= Morphologischer Kasten
635	= Methode 635	MM	= Morphologische Matrix
RWA	= Reizwortanalyse	AL	= Attribute-Listing
SY	= Synektik	PLB	= Problemlösungsbaum

Tabelle 3-3: Empfohlene Methoden der Ideenfindung (Quelle: [SCH89] )

Die Auskunft, z. B. über den Schwierigkeitsgrad, die Moderatorfähigkeit, und ob die Methode für Gruppenarbeit geeignet ist, werden in der Tabelle 3-4 demonstriert.

	Verfasser	I.	II.	III.	Dauer	IV
Morphologischer Kasten	Zwicky	3	E(G)	(++)	bis >1Tag	A
Morphologische Matrix	Zwicky	2	E(G)	(+)	bis >1Tag	P
Problemlösungsbaum	---	2	E(G)	(+)	bis >1Tag	A
Brainstorming	Osborn	2	G	+	0,5 bis 1 h	P!
Methode 635	Rohrbach	1	G	O	0,75 h	A
Synektik	Gordon	3	E(G)	++	3 h	P!
I. Schwierigkeitsgrad: 1 = nicht sehr hoch; gut als Einsteiger- oder Anfängermethode 2= setzt gute Methodenkenntnisse voraus 3= Schwierige Methode, die ausreichend zu trainieren ist						
II. Eignung für: E=Einzelarbeit; G= Gruppenarbeit; ()= bedingte Eignung						
III. Moderation: O = keine Anforderungen + = normale Anforderungen ++ = besondere Anforderungen () = wenn in Gruppe angewandt						
IV. Protokollierung: A = automatisches Protokoll P = normale Protokollsorgfalt P! = besondere Protokollsorgfalt (z. B. zus. Tonbandaufzeichnung)						

Tabelle 3-4: Zusammenfassung wesentlicher Anwendungsmerkmale der Methoden zur Ideenfindung. (Quelle: [SCH89] )

Auf weitere Erklärung bzgl. der Konstruktionsmethoden wird in dieser Diplomarbeit nicht eingegangen In dieser Arbeit werden nur für die Untersuchung relevanten Methoden, wie morphologischer Kasten, morphologische Matrix, Problemlösungsbaum, Brainstorming, Methode 635 sowie Synektik, verwendet.

### **3.3 Die Suche nach Konzeptlösung –VDI-Richtlinie 2221**

Die VDI-Richtlinie 2221 ist ein Dokument, das allgemeingültige und branchen-unabhängige Grundlagen der methodischen Entwicklung und Konstruktion beinhaltet. Diese Methode wird am meisten in Zusammenhang mit Maschinenbau und Feinwerktechnik gebracht. Durch die Präsenz des iterativen Charakters ist die Abwicklung aller Arbeitsschritte nicht über ein festes Ablaufschema festgelegt (siehe Abbildung 3-1), und daher ist ein Überspringen einzelner Arbeitsschritte sowie ein Zurückspringen zu vorherigen Arbeitsschritten möglich. Laut dieser Richtlinie werden die wichtigsten Schritte innerhalb der Konstruktionsprozesse, von der abstrakten Ebene bis zur Detaillierung der Struktur, in sieben Arbeitsabschnitte gegliedert (vgl. [VDI93] , [PBF05] ).

Abbildung 3-1 zeigt alle Arbeitsschritte, um den Entwicklungs- und Konstruktionsprozess laut VDI 2221 erfolgreich durchführen zu können. Nach jedem Arbeitsabschnitt wird eine Entscheidung getroffen, ob der nächste Arbeitsabschnitt möglich, oder ob eine Wiederholung des vorherigen Schrittes notwendig ist (ganz links). Im Maschinenbau besteht die Möglichkeit, mehrere Arbeitsabschnitte zusammenzufassen (ganz rechts) (vgl. [EHR95] ).

Die Arbeitsabschnitte sind in vier Konstruktionsphasen untergeteilt:

- Phase I – Aufgabe klären
- Phase II – Konzipieren
- Phase III – Entwerfen
- Phase IV – Ausarbeiten ( [VDI93] )

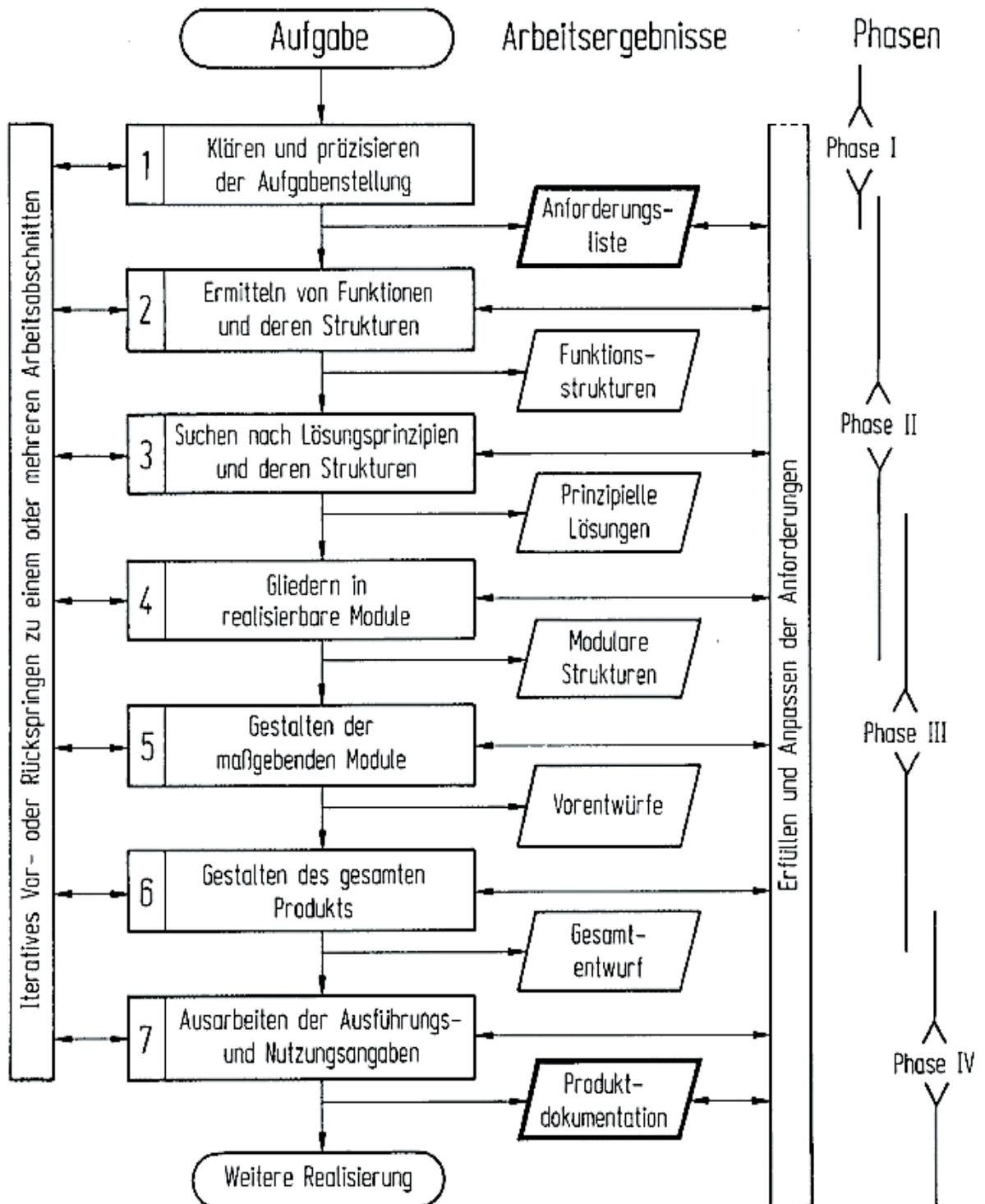


Abbildung 3-1: Das Vorgehen bei der Konstruktion neuer technischer Produkte (Quelle: VDI-Richtlinie 2221)

### **3.3.1 Konstruktionsphase: Aufgabenklärung**

Selbst bei unkomplizierten Aufgaben ist es oft nicht möglich sich gleich mit der Lösung der Aufgabe zu befassen. Die Aufbereitung bzw. Klärung der Aufgabe ist nützlich und hilfreich, um das Risiko der Festklammerung an einer nicht optimalen, aber trotzdem brauchbaren Lösung, zu minimieren. Nach der Klärung der Aufgabenstellung versuchen die Konstrukteure, das Ergebnis aus einer Anforderungsliste abzuleiten. Diese Liste dient als eine Begleitungs- und Informationsunterlage für alle Arbeitsschritte der Konstruktion (vgl. [EHR95] , [VDI93] [PBF05] ).

### **3.3.2 Konstruktionsphase: Konzipierung**

In der Phase der Konzipierung wird versucht, die prinzipielle und qualitative Funktion der Maschine zu verstehen. Dazu ist es notwendig, die Funktionsstrukturen des Produktes in Teilfunktionen zu abstrahieren. Die Abstraktion stellt die Grenze zwischen individuellen und zufälligen TeilLösungsfunktionen dar. Anschliessend wird durch die Verallgemeinerung des Problems nach der prinzipiellen Lösung gesucht. Das Konzept wird mit einer Handskizze, Schemata oder einer Zeichnung veranschaulicht (vgl. [PBF05] , [EKL07] ).

### **3.3.3 Konstruktionsphase: Entwurf**

In dieser Phase findet das Gestalten und Dimensionieren von Lösungsprinzipien in einem funktionsfähigen und herstellbaren Produkt statt. Der Prozess wird iterativ abgewickelt, dadurch beeinflussen sich abwechselnd die Synthese (Zeichnung, Vorstellung) und Analyse (Versuch, Bewertung). In diesem Teil der Produktentwicklung ist die Zeichnung das einzige Arbeits- und Ausdrucksmittel des Ingenieurs. Das Ergebnis des Entwerfens ist die schöpferische Festlegung einer Lösung (vgl. [PBF05] , [EHR95] ).

### **3.3.4 Konstruktionsphase: Ausarbeitung**

In der Ausarbeitungsphase wird die Dokumentation der Ergebnisse in Form von Zeichnungen, geometrischen Informationen und Stücklisten erstellt (vgl. [EHR95] ).

## 4 Methodisches Konstruieren nach VDI 2221

### 4.1 Lasten- und Pflichtenheft

Das Lastenheft wird vom Auftraggeber erstellt und dient der Ausschreibungs-, Angebots- und Vertragsgrundlage. Außerdem definiert dieses „Was“ zu lösen und „Wofür“ es zu lösen ist (vgl. [VDI01]).

Das Pflichtenheft wird im Gegensatz zum Lastenheft vom Auftragnehmer erstellt und definiert „Wie“ und „Womit“ die Anforderungen zu realisieren sind (vgl. [VDI01], [VDI05]).

### 4.2 Phase I: Die Anforderungsliste

Die Anforderungsliste wird aus einem Lasten- oder Pflichtenheft erstellt und dient als Grundlage zur Lösung der Aufgabestellung. Ebenso wird eine Anpassung der Anforderungsliste im Laufe der Entwicklung sinnvoll.

Die Gründe dafür sind:

- Modifizierung der Geometrie- oder Abmessungen des Produktes während der Aufgabeklä rung
- bessere Kenntnisse der Lösungsmöglichkeiten
- entwicklungsbegleitende Präzisierung der Aufgabenstellung
- Modifizierung der Aufgabenstellung aufgrund von Kundenwünschen

Um die Anpassung der Anforderungsliste nachvollziehen zu können, werden neben den neuen Anforderungen auch das Änderungsdatum eingetragen und die verantwortliche Person identifiziert. Eine Änderung der Anforderungsliste ist nach einer bestimmten Entwicklungszeit nicht mehr möglich, da die Entwicklungsperiode innerhalb der vorgegebenen Grenzen zu halten ist. In der Anforderungsliste gibt es zwei unterschiedliche Qualitäten an Bewertungsmöglichkeiten. Die Anforderungen an eine Lösung können als Forderung „F“ oder als Wunsch „W“ definiert werden (siehe Abbildung 4-1). Damit das Produkt seine Funktion ausüben kann, müssen die Anforderungen unbedingt erfüllt werden. Die Wünsche müssen akzeptabel sein und sollen nach Möglichkeit berücksichtigt werden. Die Erfüllung der Wünsche ist ein Maß für die Qualität der Konzeptlösung, aber durch die Nichterfüllung der Wünsche darf das Konzept nicht als ungeeignet einstufen (vgl. [VDI93], [PBF05]). Die Anforderungsliste ist ein wichtiges Dokument beim methodischen Konstruieren. Während der konstruktiven Entwicklung muss die Anforderungsliste auf aktuellem Stand

gehalten werden und jederzeit für die Konstrukteure verfügbar sein (vgl. [EHR95]).

		Anforderungsliste für Pelletofen	Blatt: 1 Seite
Änderung	F W	Anforderungen	Verantw.
18.07.12	F F F	<p><b>1. Geometrie: Maße des Behälters</b>                      Tiefe: max. 250 mm                      Breite: max. 500 mm                      Höhe: bis 800 mm, (obere Grenze nicht fix)</p>	
	F F W/F	<p><b>2. Kinematik:</b>                      händische Positionierung des Sackes                      Ladefläche muss größer als Sack sein                      Die Beschleunigung darf nicht hoch sein (Sicherheit) hin und her bewegen</p>	
18.07.12	F	<p><b>3. Kräfte:</b>                      Gewicht des Sacks 15 kg (in Mitteleuropa)</p>	
18.07.12	W	<p><b>4. Energie:</b>                      Elektrisch, Mechanisch, Pneumatisch, Hydraulisch</p>	
	F	<p><b>5. Stoffe:</b>                      keine besonderen Anforderungen an Material</p>	
	F	<p><b>6. Sicherheit:</b>                      Schutz des Bedienpersonals</p>	
	F	<p><b>7. Ergonomie:</b>                      automatische und staubfreie Pelletzuführung                      einfache Variante: Knopf drücken, Ladefläche aus, Beladung, Knopf drücken, Ladefläche ein                      verbesserte Ausführung: LED Display</p>	
18.07.12	W	<p><b>8. Gebrauch:</b>                      Einsatzort: Wohnzimmer, d. h. Geräusche möglichst minimieren</p>	
	F	<p><b>9. Instandhaltung:</b>                      Schneidklinge muss in regelmäßigen Intervallen ausgetauscht werden</p>	
	W	<p><b>10. Kosten:</b>                      max. zulässige Kosten ca. 1.000 €</p>	
	W	<p><b>11. Termin:</b>                      ca. 6 Monaten + 3 Monaten</p>	
		3. Ausgabe vom 27.09.2012	

Abbildung 4-1: Die Anforderungsliste

In Abbildung 4-1 ist die Anforderungsliste für die Aufgabenstellung „Methodische Entwicklung einer automatische Befüllung des Pelletofenvorratsbehälters“ zusammengefasst. Als Hauptanforderung wird in diesem Fall die Geometrie des Ofens bezeichnet, da der Vorratsbehälter eine genaue festgelegte Tiefe und Breite besitzt und für die Höhe wurde ein passendes Maß gefunden. Weitere Anforderungen sind aus der Anforderungsliste ersichtlich. Die Anforderungsliste wurde in Zusammenarbeit mit den verantwortlichen Projektleitern der Firma HET ausgearbeitet.

## 4.3 Phase II: Konzepterstellung

### 4.3.1 Das Konzept

Durch die Konzepterstellung möchte das Unternehmen HET-Engergietechnik einen Marktvorsprung erreichen und damit ein erfolgreiches Produkt auf den Markt bringen. Anhand der nachstehenden Skizzen werden drei Varianten des Konzeptes veranschaulicht. Die Skizzen dienen der ersten Informationsgewinnung sowie dem besseren Verständniss der Konzeptgrundidee.

#### 4.3.1.1 Konzeptvariante I:

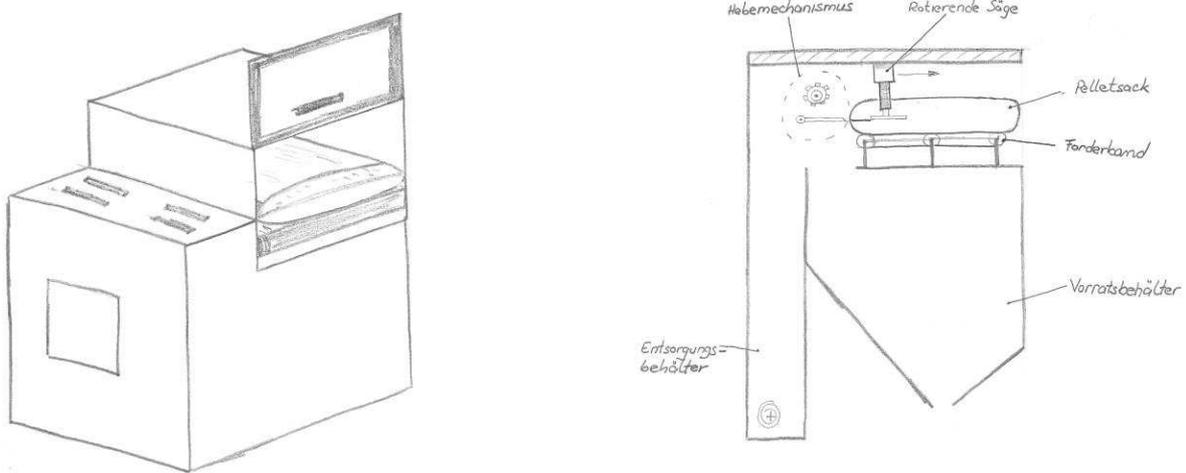


Abbildung 4-2: Konzeptvariante I

Bei dieser Variante erfolgt die Beladung seitlich mit ein oder zwei Pelletsäcken. Der Pelletsack wird durch ein rotierendes Sägeblatt aufgeschnitten und anschliessend durch einen Hebemechanismus ausgeleert.

### 4.3.1.2 Konzeptvariante II:

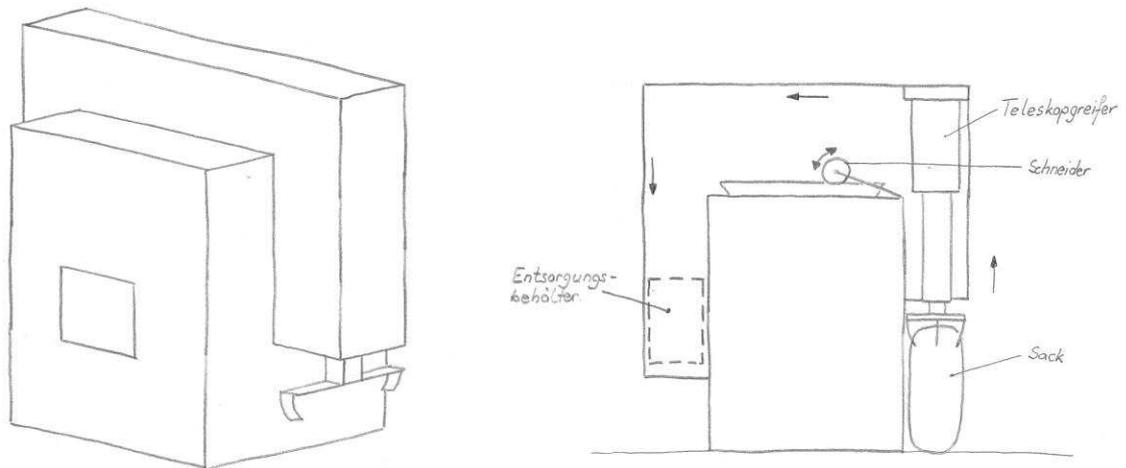


Abbildung 4-3: Konzeptvariante II

Die zweite Variante ist mit einem Teleskopgreifer ausgerüstet. Der Pelletsack wird seitlich neben dem Pelletofen platziert und anschliessend hebt der Greifer den Pelletsack hoch, zieht diesen über die rotierenden Messer, welche sich im Inneren des Pelletofen befinden. Somit können die Pellet aus dem Sack herausfließen und der Greifer entsorgt den leeren Pelletsack auf der anderen Seite des Pelletofen.

### 4.3.1.3 Konzeptvariante III:

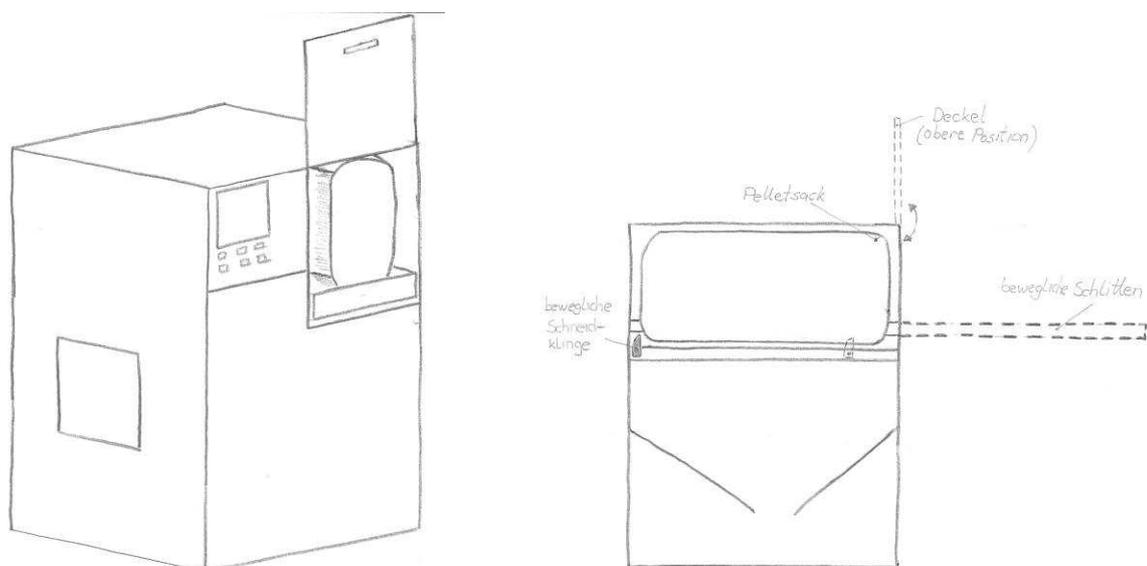


Abbildung 4-4: Konzeptvariante III

Die letzte Variante funktioniert wie das Schubladenprinzip. Eine Ladefläche wird mit dem Pelletsack beladen und darauf wird dieser in das Innere des Vorratsbehälters transportiert. Im Inneren des Vorratsbehälters, direkt unter dem Pelletsack, befindet sich eine Klinge. Der Pelletsack wird beim Einfahren über die Klinge aufgeschnitten darauf wird dieser entleert. Bei dem nächsten Befüllungsvorgang wird der leere Pelletsack per Hand entnommen.

Bei der Konzeptauswahl kommt die Bewertungsmethode „Vorteil-/Nachteile-Vergleich“ zum Einsatz, jedoch unter Beachtung der Anforderungen, welche in der Anforderungsliste beschrieben wurden.

Anforderungen		
Grosse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maße des Behälters</li> <li>• automatisch, staubfrei, einfach zu bedienen</li> <li>• elektrisch</li> <li>• ca.1000 €</li> </ul>	F
Ergonomie		F
Energie		F
Kosten		W

**Tabelle 4-1: Anforderungen an alle Konzeptvariante**

Variante	Kriterien			
	Größe	Ergonomie	Energie	Kosten
I	+	++	++	+
II	+	+	+	+
III	++	+++	+++	++

**Tabelle 4-2: Bewertung der Varianten**

Nach dem Bewerten wurde die Variante III als bestes Konzept eingestuft. Aus diesem Grund wird diese Variante weiterverfolgt.

### 4.3.2 Die Black-Box

Eine abstrakte Form der Veranschaulichung des Endproduktes ist die Black-Box. Im ersten Schritt der Funktionsanalyse wird die Gesamtfunktion in einer Black-Box präsentiert und die zur Erfüllung der Funktion notwendigen Eingangs- und Ausgangsdaten werden darin dargelegt. Für die Black-Box-Darstellung sind die abstrakten Eingangs- und Ausgangsdaten ausschlaggebend, jedoch wird die innere Struktur nicht berücksichtigt. Es werden nur die an den Systemgrenzen auftretenden Eingänge (Pelletsäcke) und Ausgänge (Verbrennungswärme des Pellet) betrachtet. An der Erfüllung einer Funktion sind maximal drei voneinander unabhängige Umsatzgrößen beteiligt:

- Energie
- Stoff
- Information

Als Energie gilt die mechanische, chemische, thermische und elektrische Energie. Mit dem Begriff Stoff werden materielle Feststoffe und Fluide bezeichnet. Beispiele für die Verwendung des Begriffes Stoff sind, in unserem Fall, Pellet und in weiterem Sinn können dies auch Benzin, Wasser oder Gas sein. Die Informationen beinhalten jegliche Art von Daten, wie beispielsweise Steuerimpulse, Messgrößen oder gespeicherte Informationen (vgl. [VDI97] , [EHR95] ) .



Abbildung 4-5: Die Darstellung der Black-Box des Vorratsbehälters

Im folgenden Verlauf werden die inneren Funktionen des Produktes mit steigendem Detaillierungsgrad beschrieben. Dadurch werden die Teilfunktionen und Unterfunktionen der inneren Struktur verifiziert.

### 4.3.3 Ermitteln von inneren Funktionen und deren Strukturen

Die komplexen Funktionen des Produktes müssen in der Funktionsanalyse auf die Hauptfunktion reduziert werden. Um die Funktionen auf das Nötigste zu reduzieren, sollte die Hauptfunktion des Produktes in einzelne Teilfunktionen zerlegt werden (siehe Abbildung 4-6). Die Teilfunktionen werden abstrahiert und verallgemeinert, damit der Kern der Aufgabenstellung erkennbar ist. Bei diesem Abstrahierungsprozess ist notwendig, dass die Formulierung der Funktion mit einem Prädikat und einem Objekt beschrieben wird (vgl. [VDI97] ). Nachdem im Black-Box-Schema die Gesamtfunktion, eine Eingangs- und eine Ausgangsgröße verdeutlicht wurden, wird nun die innere Struktur des Vorratsbehälters genauer aufgelöst. Dazu wird der gesamte Prozessablauf der Pelletzufuhr ins Visier genommen. Die Kombination der Anforderungsliste und der Darstellung der inneren Struktur verdeutlicht die Suche nach den Teilfunktionen und Unterfunktionen.

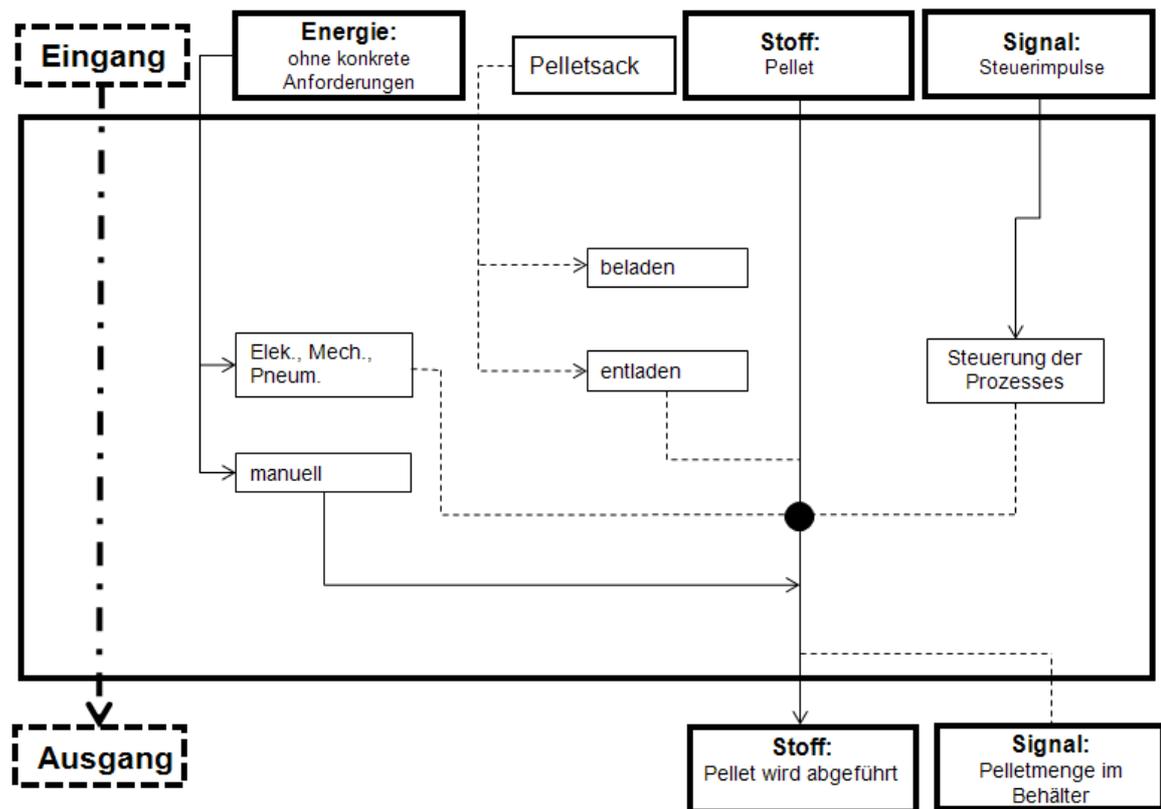


Abbildung 4-6: Die innere Struktur des Vorratsbehälters

#### 4.3.4 Kombination der Teilfunktionen

Die Gesamtfunktion eines Systems besteht aus mehreren Teilfunktionen. Außerdem schafft die teilweise Funktionserklärung für die Ingenieure neue Erkenntnisse über potenzielle Systemlösungen sowie angemessene Funktionsmodellierung des Systems. Ein technisches Produkt lässt sich in vier Grundprinzipien des Denkens und Handelns beschreiben und diese sind in der Funktionsmodellierung folgende:

- Abstraktion
- Problemzerlegung
- Projektion
- Konzentration

Das Denken in Funktionen führt dazu, dass Zusammenhänge zwischen Gesamtfunktion und Teilfunktion mit einfachen Mitteln beschrieben und mit Hilfe dieser Mittel Probleme gelöst werden können.

**Die Abstraktion** verringert die Komplexität durch Vernachlässigung von Nebenaspekten und Details, wobei sie immer zielgerichtet orientiert sein muss.

Des Weiteren ist die **Problemzerkleinerung** eine Problemlösestrategie, bei der ein Problem immer weiter in Teilprobleme zerlegt wird, bis diese sich einfach lösen lassen. Aus den Lösungen der Teilprobleme wird dann die Lösung des Gesamtproblems zusammengesetzt. Durch **Projektion** kann das System aus verschiedener Sicht betrachtet werden, wobei für ein und dasselbe Produkt verschiedene Teilfunktionen abgeleitet werden können. Zu den bedeutendsten Arten der Funktionsmodellierung gehören das umsatzorientierte, relationsorientierte und nutzerorientierte Funktionsmodell. Die Modellierung eines komplizierten Produktes besteht aus mehreren Konstruktionsschritten, dabei dürfen keine wesentliche Aspekte und Elemente vergessen werden. Um ein Zielprodukt in der Gesamtheit betrachten zu können, ist es notwendig zunächst nur die wichtigsten Teilaspekte ins Visier zu nehmen und dies kann durch das vierte Grundprinzip – die **Konzentration** – repräsentiert werden. Um eine Hauptfunktion erfüllen zu können, sind Nebenfunktionen notwendig. Jedoch wirken sich die Hauptfunktionen direkt auf die Gesamtfunktion aus und die Nebenfunktionen haben lediglich eine indirekte Auswirkung auf die Gesamtfunktion. Ferner sollte die Konzentration der Betrachtung auf die Hauptfunktion den Schwerpunkt bilden. Eine Komplementierung des Funktionsmodells und die Betrachtung von Nebenfunktionen finden etappenweise statt (vgl. [VDI97] , [EHR95] , [PL11] ).

Die ausgewählte Variante III (Abbildung 4-4) wird durch die iterative Ablaufflexibilität des methodischen Konstruierens auf Teilfunktionen und Unterfunktion zerlegt. Damit werden neue Informationen, wie z. B. die Wirkgeometrie, Wirkbewegung oder Werkstoffart, gewonnen und diese Informationen dienen als Basis für die weiteren Konstruktionen. Die Teilfunktionen sowie die Unterfunktionen der Variante III sind aus der inneren Struktur des Vorratsbehälters abgeleitet (siehe Abbildung 4-7). Diese sind im Hinblick auf die zu realisierende Gesamtfunktion weiter zu untersuchen. Dazu werden im folgenden Kapitel für die Teilfunktionen und die Unterfunktionen Wirkprinzipien und Lösungsansätze erarbeitet, die im weiteren Verlauf analysiert werden.

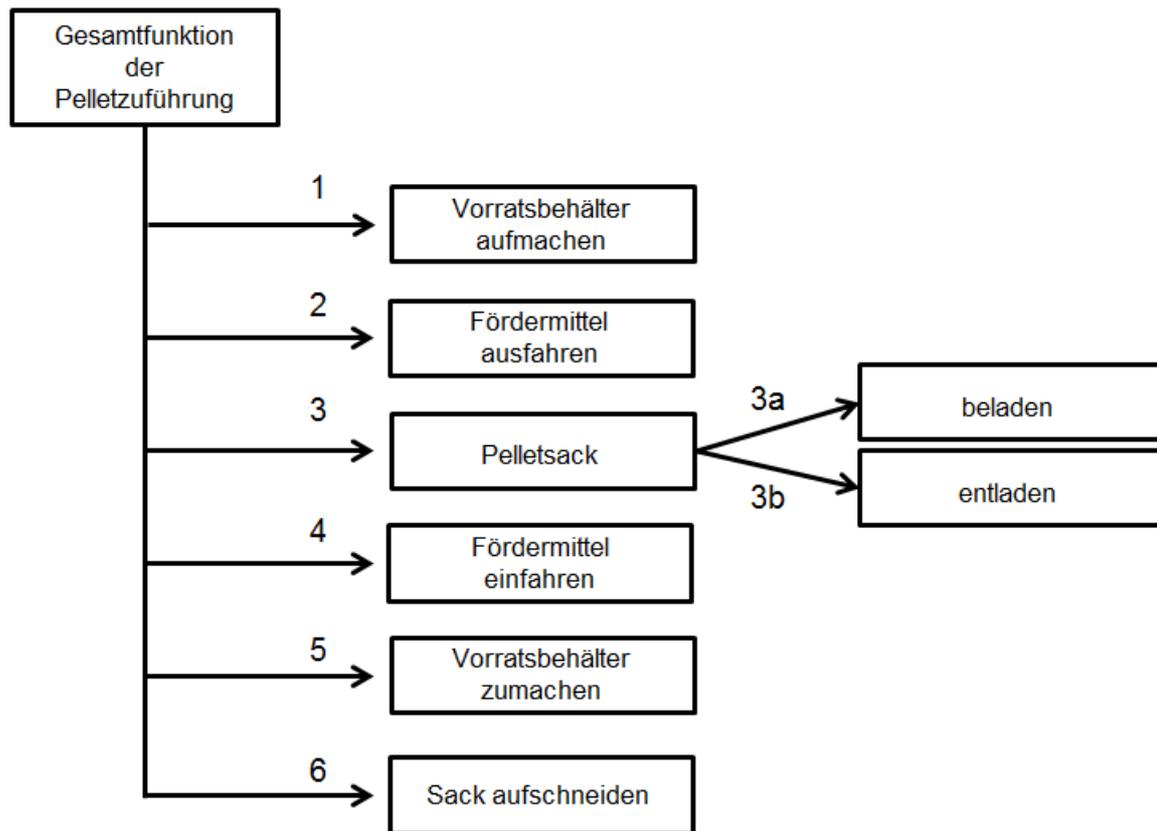


Abbildung 4-7: Kombination der Teilfunktionen (vgl. [VDI93])

#### 4.3.5 Die Wirkmodelle und die prinzipiellen Lösungen

Im nächsten Entwicklungsabschnitt werden die prinzipiellen Lösungen für die Teil- und Unterfunktionen angeführt. Mehrere Teilfunktionen haben eine ähnliche oder sogar gleiche Beschreibung. Solche Teilfunktionen werden in einem Schritt erklärt z. B. Vorratsbehälter zu- und aufmachen, Fördermittel ein- und ausfahren.

Um die unterschiedlichen Lösungsmöglichkeiten betrachten und gegenüberstellen zu können, wird die Ermittlung der Wirkmodelle zur Anwendung gebracht. Die zielorientierte Betrachtung der Problemstellung wird auf abstrakter Ebene beschrieben und dargestellt. Die Realisierung der technischen Produkte ist auf unterschiedliche Art und Weise möglich. Aufgrund der abstrakten Betrachtung der Problemstellung wird gewährleistet, dass ohne vorherige Analyse ein Wirkmodell und eine Lösungsmöglichkeit nicht in Betracht genommen werden.

### 4.3.5.1 Auswahl und Bewertung der Automatisierung

Die entscheidende Anforderung ist die automatische Befüllung des Vorratsbehälters. Die Lösungsmöglichkeiten für diese Anforderung werden in der Tabelle 4-3 aufgelistet.

<b>Automatisierung</b>			
<b>Lösungsmöglichkeiten :</b>			
1.elektrisch	2.pneumatisch	3.hydraulisch	4.mechanisch

Tabelle 4-3: Verschiedene Automatisierungsmöglichkeiten

Bei einer großen Anzahl von Lösungsmöglichkeiten wird eine Auswahlliste zur besten Lösungsfindung herangezogen. Die Lösungsvarianten werden in Hinblick auf der Erfüllung der Kriterien mit ja (+) oder nein (-) beurteilt. (vgl. [PBF05]).

<b>Kriterium</b>	<b>Lösungsvarianten</b>			
	1	2	3	4
A. Forderung der Anforderungsliste erfüllt?	+	+	+	+
B. Verträglichkeit gegeben?	+	-	-	+
C. Grundsätzlich realisierbar?	+	-	-	+
D. Aufwand zulässig?	+	-	-	-
E. Optische Eigenschaften?	+	+	+	-
F. Sicherheitsaspekte berücksichtigen?	+	-	-	+
G. Know-how vorhanden/beschaffbar?	+	+	+	+
H. Ergonomie ?	+	-	-	+
<b>Entscheidung</b>	<b>+</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

Tabelle 4-4: Auswahlliste für die Automatisierung

Die Entscheidung wird aufgrund der Bewertungsergebnisse getroffen und im diesen Fall ist die Lösungsvariante 1 als best rangierte. In der Tabelle 4-4 werden die Bewertungsergebnisse präsentiert.

### 4.3.5.2 Die Liste der Wirkprinzipien und Lösungsmöglichkeiten

<b>Lösungsprinzipien für die Teilfunktionen 1 und 5: Automatisierung des Deckels</b>				
<p><i>Abstraktion: Um den Vorratsbehälter zu befüllen muss der Deckel zunächst aufgemacht werden und anschliessend wird dieser wieder geschlossen.</i></p>				
<b>Lösungsmöglichkeiten :</b>				
elektrische Hebe- mechanismus	pneumatische Öffnung des Deckels	Hydraulische Öffnung des Deckels	Mechanische Öffnung des Deckels	manuell

Abbildung 4-8: Die Teilfunktionen 1 und 5, die Automatisierung des Deckels

<b>Lösungsprinzipien für die Teilfunktionen 2 und 4: Fördermittel / Transportmittel des Pelletsackes</b>			
<p><i>Abstraktion: Der Pelletsack muss im Behälter transportiert werden.</i></p>			
<b>Lösungsmöglichkeiten :</b>			
Gewinde- spindelantrieb	Zahnriemen- antrieb	Zylinder	Mechanisch (Federsystem)

Abbildung 4-9: Die Teilfunktion 2 und 4, Fördermittel / Transport des Pelletsackes

<b>Lösungsprinzipien für die Teilfunktion 3: Pelletsack beladen / entladen</b>		
<i>Abstraktion: Der Pelletsack wird auf eine bestimmte Höhe gebracht.</i>		
<b>Lösungsmöglichkeiten :</b>		
Manuell	Hebetisch	Kran
		

Abbildung 4-10: Die Teilfunktion 3, der Pelletsack beladen/entladen

<b>Lösungsprinzipien für die Teilfunktionen 6: Säcke aufschneiden</b>				
<i>Abstraktion: Der Pelletsack befindet sich im Behälter und muss aufgeschnitten werden.</i>				
<b>Lösungsmöglichkeiten :</b>				
Einzelne Klinge	Druckluftmotor	Heiße Draht	Laser	händisch
				

Abbildung 4-11: Die Teilfunktion 6, der Pelletsack aufschneiden

### 4.3.5.3 Auswahl und Bewertung der Lösungsmöglichkeiten

Die abstrakten Lösungsprinzipien öffnen den Konstrukteuren neuartige Innovationswege mit gewissen Herausforderungen. Um kreativ denken und konstruieren zu können, müssen Kreativitätsblockaden abgebaut werden. Die Kreativitätsblockaden sind z. B. Angst vor Fehlern, das Denken in gewohnten Lösungsmustern oder die Zufriedenheit mit dem Bekannten. Die abstrakte Beschreibung (siehe Abbildung 4-8 bis 4-11) der Problemstellung hilft uns von bekannten Lösungen und Kreativitätsblockaden frei zu werden, während die Teilfunktionsanalyse für die Erzeugung von innovativen und optimierten Lösungen verantwortlich ist (vgl. [PL11]). Die Bewertung von Lösungsmöglichkeiten wird in Zusammenarbeit mit der Geschäftsführung der Firma HET durchgeführt.

Bezüglich der Ausführungs-komplexität	besser (1) oder schlechter (0)					Punkte-summe $\Sigma$	Rangfolge
	elektrische Heber-mechanismus	pneumatische Öffnung des Deckels	Hydraulische Öffnung des Deckels	Mechanische Öffnung des Deckels	manuell		
elektrische Heber-mechanismus	-	1	1	1	1	4	1
pneumatische Öffnung des Deckels	0	-	1	0	1	2	3
Hydraulische Öffnung des Deckels	0	0	-	0	1	1	4
Mechanische Öffnung des Deckels	0	1	1	-	1	3	2
manuell	0	0	0	0	-	0	0

Tabelle 4-5: Die Bewertung der Lösungsmöglichkeiten der Teilfunktion 1 und 5, die Automatisierung des Vorratsbehälters

Bezüglich der Handhabungs-flexibilität	besser (1) oder schlechter (0)			Punkte-summe $\Sigma$	Rangfolge
	Kran	Hebetisch	manuell		
Kran	-	0	0	0	3
Hebetisch	1	-	0	1	2
manuell	1	1	-	2	1

Tabelle 4-6: Die Bewertung der Lösungsmöglichkeiten der Teilfunktionen 3, Pelletsack beladen / entladen

Bezüglich der Montage und Platzbedarf	besser (1) oder schlechter (0)				Punkte- summe $\Sigma$	Rangfolge
	Gewinde- spindel- antrieb	Zahnrie- menan- trieb	Zylinder	Mecha- nisch (Feder- system)		
Gewinde- spindelantrieb	-	0	1	0	1	3
Zahnriemen- antrieb	1	-	1	1	3	1
Zylinder	0	0	-	0	0	4
Mechanisch (Federsystem)	1	0	1	-	2	2

**Tabelle 4-7: Die Bewertung der Lösungsmöglichkeiten der Teilfunktionen 2 und 4, Fördermittel / Transportmittel**

Bezüglich der Effektivität und Sicherheit	besser (1) oder schlechter (0)					Punkte- summe $\Sigma$	Rangfolge
	Einzelne Klinge	Druck- luftmotor	Heiß- draht	Laser	händisch		
Einzelne Klinge	-	1	1	1	1	4	1
Druckluft- motor	0	-	1	0	1	2	3
Heißdraht	0	0	-	0	1	1	4
Laser	0	1	1	-	1	3	2
händisch	0	0	0	0	-	0	5

**Tabelle 4-8: Die Bewertung der Lösungsmöglichkeiten der Teilfunktionen 6, Säcke aufschneiden**

#### 4.3.6 Die Versuchsdurchführung: Pelletsack durchschneiden

Versuchstätigkeiten sind ständige Begleiter in einem Konstruktionsprozess. Während der Phase II – Konzipieren – werden verschiedene Ideen für neue Produkte entworfen. Für viele Lösungsideen existieren überhaupt keine Daten und Informationen. Um die neue Idee theoretisch beschreiben zu können, müssen neue Informationen beschafft werden. Diese Informationen werden aufgrund

von Ähnlichkeitsgesetzen aus verschiedenen Laborversuchen oder Experimenten abgeleitet.

Die spezifische Aufgabenstellung und die fehlenden Informationen über das Durchschneiden des Pelletsackes zwingen uns diverse Laborversuche durchzuführen, um die optimale Öffnung am Pelletsack erzielen zu können. In erster Linie ist eine Modellvorstellung der Idee zu erarbeiten. Jede Modellvorstellung hat eine Einflussgröße, die in Wirklichkeit nicht viel abweichen soll. Am Anfang werden die Einflussgrößen grob geschätzt, damit die Schwachstelle der Idee erkannt werden kann. In weiteren Untersuchungen werden die Versuche verfeinert, um genauen Informationen zu erhalten.

Alle Versuche werden im eigenen Haus mit Funktion- oder Labormustern durchgeführt. Bei diesem Versuch geht es in der ersten Linie um die Frage, wie viel Pellet nach dem Schneiden im Pelletsack übrig bleibt. Um diese Frage beantworten zu können, werden an verschiedenen Stellen des Pelletsackes Schnitte gemacht.

Die Ablaufschritte des Versuchs Nr. 1:

1. Der Pelletsack wird auf dem Schlitten platziert (Bild 1)
2. Zwei seitliche Bleche sitzen den Pelletsack ein (Bild 1)
3. Die Klinge ist unter dem Pelletsack mittig befestigt, um den Schnitt durch die Mitte des Pelletsackes ausführen zu können (Bild 2)
4. Der Schlitten wird händisch, zusammen mit dem Pelletsack, über die Klinge gedrückt (Bild 2)
5. Der Pelletsack direkt nach dem durchgeführten Schnitt (Bild 3)

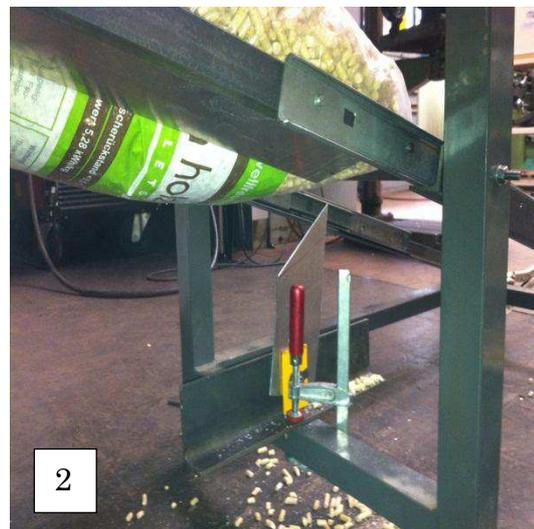




Abbildung 4-12: Versuch Nr. 1, der Pelletsack wird mittig geschnitten.

In diesem Versuch werden die ersten Erkenntnisse über den Schlitten, die Pelletsackgrösse und Klinge gewonnen. Durch den Schnitt fließen etwa 75 % der Pellets aus dem Sack heraus (Bild 3). Die Pelletsackplatzierung ist nicht optimal im Vergleich zur Behältergeometrie. Trotzdem wird der Versuch als erfolgreich eingestuft, weil die getestete Schlittenbewegung, Teleskopschienen und Klinge viele wichtige Antworten liefern.

Die Ablaufschritte des Versuchs Nr. 2:

1. Der Sack wird auf eine beidseitig gelagerte Welle gewickelt (Bild 1)
2. Die Durchführung des Schnittes (Bild 2)
3. Beinahe 100-prozentige Entleerung (Bild 3)

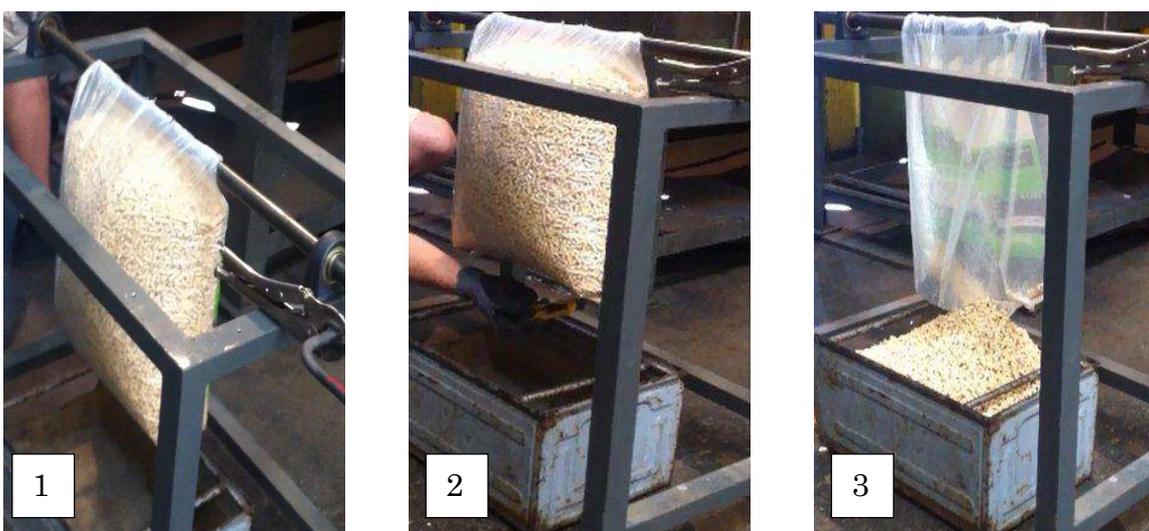


Abbildung 4-13: Versuch Nr. 2, Wickelwelle – Schnitt von unten

Im Versuch Nr. 2 sind fast alle Pellets aus dem Sack herausgeflossen. Die Wickelwelle wird zusätzlich mit fünf geschweißten Nageln ausgerüstet, um den Sack besser auf der Welle zu halten. Mit diesem Versuch konnte herausgefunden werden, dass die volle Sackentleerung möglich ist. Um die Idee verwirklichen zu können, sollte ein neuer Mechanismus entwickelt werden. Der Mechanismus muss den Pelletsack in den Vorratsbehälter bringen und auf die Wickelwelle hängen. Solch eine komplexe Lösung überschreitet den Kostenrahmen für dieses Projekt und aus diesem Grund kann die Idee nicht weiterverfolgt werden.

Die Ablaufschritte des Versuchs Nr. 3:

1. Die sechs beweglichen Haken werden im Pelletsack eingesteckt und der dadurch angehängte Sack wird in den Vorratsbehälter transportiert (Bild 1)
2. Die Durchführung des Schnittes (Bild 2)
3. Nach dem Schnitt sind nicht alle Pellets aus dem Sack herausgeflossen (Bild 3)
4. Im letzten Bild wird veranschaulicht, wie der Pelletsack nach dem Schnitt aussieht.



Abbildung 4-14: Versuch Nr. 3, Anhängen

In diesem Versuch wird zuerst getestet, ob mit einem diagonalen Schnitt (Bild 4) mehr Pellets aus dem Sack herausfließen. Die restlichen Pellets sind größtenteils in den Ecken des Pelletsackes geblieben (Bild 3). Die sechs Hakenmechanismen wurden in diesem Versuch zum ersten Mal überprüft. So ein Mechanismus zieht weitere Komponenten mit sich, z. B. Einbau von zusätzlichen Motoren, die jedoch für einen automatischen Nachfüllvorgang im Wohnzimmer nicht geeignet sind, da dies zusätzliche Vorrichtungen an dem Pelletofen erfordert und die zusätzlichen Vorrichtungen führen zu hoher Komplexität in der Produktion.

Die Ablaufschritte des Versuchs Nr. 4:

1. Der Pelletsack wird auf die Rollenbahn gehoben und losgelassen (Bild 1).
2. Die Rollenbahn wird direkt im Vorratsbehälter platziert, wobei zwischen den Rollen sieben Klingen befestigt sind (Bild 2).
3. Der Sack bewegt sich aufgrund des Gewichts über die scharfe Klinge in das Innere des Behälters.
4. Die sieben Klingen verursachen mehrere längliche Öffnungen am Sack (Bild 3 und 4).

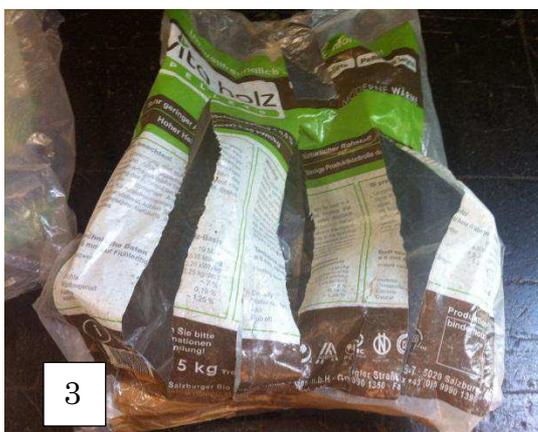
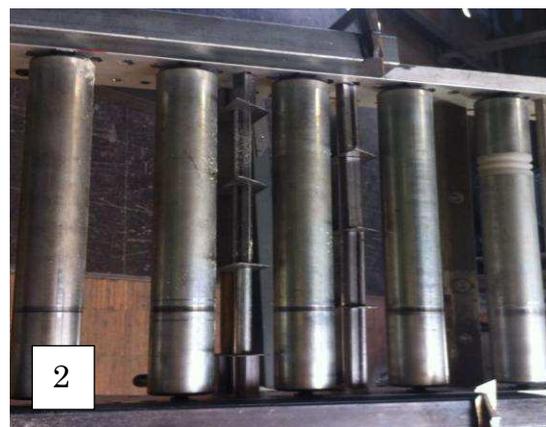


Abbildung 4-15: Versuch Nr. 4, mehrerer Klingen auf einer geneigten Rollenbahn

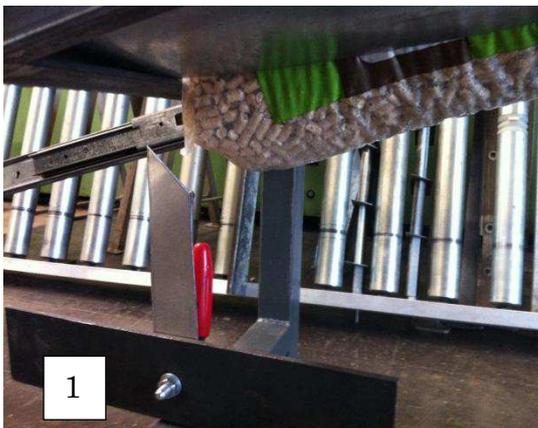
Mit diesem Versuch wird eine robuste und sehr einfache Idee getestet. Aus dem Pelletsack, der durch die Klingen aufgeschnitten wurde, laufen die Pellets durch die Zwischenräume der Rollenbahn aus. Während der Durchführung dieses Versuchs werden mehrere Schwachstellen der Idee entdeckt:

- Die Entleerung erfolgt nur zu 50 %.
- Der Vorratsbehälter ist während des Befüllungsprozesses geöffnet und dadurch entsteht starke Staubentwicklung.
- Kein ergonomisches Befüllen, da der Pelletsack hochgehoben werden muss, um den den Vorratsbehälter zu befüllen.
- Verletzungsgefahr durch die scharfe Klingen für der Bediener bei der Entnahme des Pelletsacks.

Die Anforderungen konnten mit diesem Versuch nicht erreicht und letztendlich konnte keine brauchbare Verwendung dieser Idee gefunden werden.

Die Ablaufschritte des Versuchs Nr. 5:

1. Der Pelletsack wird auf die schmale, längliche Seite platziert (Bild 1).
2. Der Abstand zwischen den zwei Bodenblechen wird für diesen Versuch auf 80 mm verkleinert, um einen besseren Halt des Pelletsackes gewährleisten zu können (Bild 2 und 3)
3. Die Klinge wird direkt unter dem Pelletsack befestigt (Bild 1 und 3)
4. Der Schlitten wird in die Richtung des Vorratsbehälters gedrückt und über die Klinge gezogen (Bild 3)
5. Darstellung des Pelletsackes nach dem durchgeführten Schnitt (Bild 4).



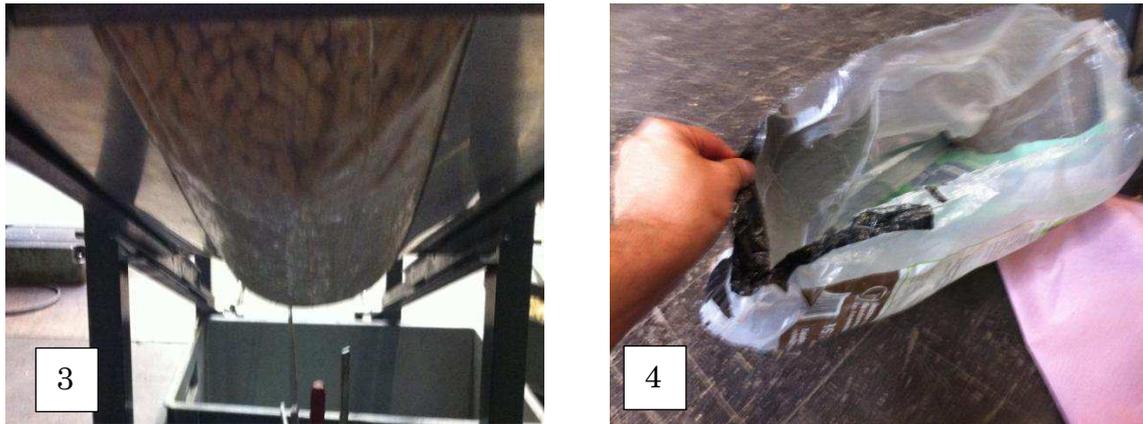


Abbildung 4-16: Versuch Nr. 5, der Pelletsack ist seitlich platziert und der Schnitt wird auch seitlich ausgeführt

Der fünfte und erste Versuch sind sehr ähnlich. Die gewonnenen Informationen aus dem Versuch Nr. 1 werden weiter verfeinert und optimiert und im Versuch Nr. 5 vorgestellt. Für den Sack wird eine optimale Position gefunden, die auch von den Behälterabmessungen akzeptierbar ist. Die über 95-prozentige Entleerung wird auch als akzeptabel bezeichnet.

Auf Basis der Methoden zur Lösungssuche, wie im Kapiteln 2.1.1 und 3.2 dargestellt, wurden mehrere Ideen gefunden. Nicht alle Ideen können weiterverfolgt werden, und aus diesem Grund werden im Rahmen dieser Diplomarbeit nur fünf verschiedene Versuche gemacht. Des Weiteren sind aus Ideen verschiedene Lösungsvarianten entstanden.

Kriterium	Versuch				
	1	2	3	4	5
A. Forderung der Abmessungen erfüllt?	-	+	-	-	+
B. Verträglichkeit gegeben?	+	+	-	-	+
C. Grundsätzlich realisierbar?	-	-	+	-	+
D. Aufwand zulässig?	+	-	-	-	+
E. Optische Eigenschaften?	+	+	-	-	+
F. Sicherheitsaspekte berücksichtigen?	+	+	+	-	+
G. Know-how vorhanden/beschaffbar?	+	+	+	+	+
H. Entleerung des Pelletsacks > 85%?	+	-	-	-	+
<b>Entscheidung</b>	-	-	-	-	+

Tabelle 4-9: Auswahl der geeignete Variante für die Pelletsackentleerung

Es wird die Methode „Auswahlliste“ angewendet, da mit dieser Methode, bei Kriterienverstoss, sehr rasch eine Variante ausgeschieden wird. Alle nicht ausgeschiedenen Lösungsvarianten werden untersucht und dadurch werden weitere Informationen gewonnen, welche mit Hilfe des Morphologischen Kastens weiter verfolgt bzw. kombiniert werden.

### 4.3.7 Der Morphologische Kasten

**Morphologie:** „Das Wort „Morphologie“ entstammt der griechischen Sprache und bedeutet in enger Übersetzung so viel wie „Lehre von den Gebilden, Formen, Gestalten, Strukturen“ und deren zugrunde liegenden Aufbau- bzw. Ordnungsprinzipien“ ([SCH89]).

„**Der Morphologische Kasten** ist ein spezielles eindimensionales Ordnungsschema zur übersichtlichen Darstellung eines Spektrums an Teillösungsideen und daraus abgeleiteten Lösungskonzepten.“ ([PL11]).

Um Ideen für die weiteren Konstruktionsschritte zu sammeln und um wiederum aus der technischen und wirtschaftlichen Sicht betrachten zu können, wurde ein Morphologischer Kasten erstellt. Durch diese Methode lassen sich die Ideen in einer tabellarischen Form darstellen, wobei die Teilfunktionen in den linken Spalten angeführt sind. Für jede von sechs Teilfunktionen werden mindestens drei Lösungsmöglichkeiten ermittelt und in dieser Tabelle in der Kopfspalte angeführt. Die Gesamtlösung entsteht aus einer Kombination von mehreren Lösungsmöglichkeiten. Die Verbindung der Teilfunktionen beginnt in der Spalte der Teilfunktion 1 und endet in der Spalte der Teilfunktion 6. Während des Kombinationsprozesses entsteht eine Kette von Lösungsmöglichkeiten, die am Ende die Gesamtlösung ergeben. Da die Anzahl der Kombinationsmöglichkeiten unerschöpflich sein kann, wurde durch die frühere Bewertung der Lösungsmöglichkeiten in Kapitel 4.3.5.3 eine Leitlinie definiert. Die beste Kombination der Lösungsmöglichkeiten ist mit den roten Pfeilen angegeben und die zweitbeste mit den blauen Pfeilen (siehe Abbildung 4-17).

		Lösungsmöglichkeiten					
Teil-Funktion	Bezeichnung	elektrische Hebermechanismus	pneumatische Öffnung des Deckels	Hydraulische Öffnung des Deckels	Mechanische Öffnung des Deckels	manuell	
1	Vorratsbehälter aufmachen						
2	Fördermittel ausfahren	Gewindespindeltrieb	Zahnriemenantrieb	Zylinder	Federsystem		
3	Pelletsack	Kran		Hebetisch	manuell		
4	Fördermittel einfahren	Gewindespindeltrieb	Zahnriemenantrieb	Zylinder	Federsystem		
5	Vorratsbehälter zumachen	elektrische Hebermechanismus	pneumatische Öffnung des Deckels	Hydraulische Öffnung des Deckels	Mechanische Öffnung des Deckels	manuell	
6	Sack aufschneiden	Einzelne Klinge	Druckluftmotor	Heißdraht	Laser	händisch	

Abbildung 4-17: Morphologischer Kasten über die Lösungsmöglichkeiten zur automatischen Nachfüllung von Pelletöfen

### 4.3.8 Prinzipielle Lösung

Den Abschluss der Phase II – Konzipieren – bildet die Entscheidung über die optimale Lösung. Die Lösung des Konzeptes wurde mit Hilfe des Morphologischen Kastens ausgewählt und es sollten keine weiteren Änderungen in das Konzept einfließen. Die VDI-Richtlinie 2221 erlaubt eine iterative Arbeitsweise im Entwicklungsprozess und ein Rücksprung aus dieser Phase in eine andere führt zu einem höheren Zeitaufwand. Deshalb ist es in dieser Phase von Vorteil, die Verbesserungsmaßnahmen oder Fehlermöglichkeiten zu klären und dies in weiterer Folge auch zu beachten. Durch die ständigen Konsultationen mit den Projektverantwortlichen konnte bei diesem Projekt ein Rücksprung vermieden werden.

Mit Hilfe verschiedener Kreativitätstechniken, der VDI-Richtlinien 2221/2222 und des am Ende erstellten Morphologischen Kastens kann folgender Schluss gezogen werden:

- Da bereits Anschlüsse für die elektrische Energie im Pelletofen vorhanden sind, wurde der elektrische Antrieb bevorzugt. Um den Deckel des Vorratsbehälters zu öffnen, wurden zwei bereits am Markt vorhandene Kraftspeichersysteme mit einem elektrischen Antrieb für das vollautomatische System angewendet. Das Kraftspeichersystem ohne den elektrischen Antrieb wird als halb automatische Lösung bezeichnet.
- Der Bewegungsablauf des Transportmittels wurde ebenfalls durch eine Kombination von mehreren bereits am Markt befindlichen Produkten ins Leben gerufen. Die Kombination von Schrittmotoren, Linearführungen und Teleskopschienen ist derzeit eine ergonomische und sehr elegante Lösung.
- Dieses Modell des Pelletofens ist für das Wohnzimmer geeignet. Die Gründe für die Befüllung per Hand sind die Einfachheit des Systems sowie die Reduzierung der Herstellungskosten.

Grundsätzlich stellt diese Lösung eine neue Art der Nachfüllung des Vorratsbehälters dar. Wie aus der Skizze zu erkennen ist, wird dieser Nachfüllvorgang durch die an der rechten Seite befindliche Öffnung am Behälter eintreten. Der Pelletsack soll automatisch in das Innere des Behälters transportiert werden und dieser Zweck wird durch den beweglichen Schlitten garantiert, dessen Prinzip auf dem Schubladenprinzip basiert (siehe Kapitel 4.3). Anschliessend wird der Pelletsack zerschnitten und die Pellets laufen in den dafür vorgesehenen Vorratsbehälter aus. Die Basiserklärungen des methodischen Konstruierens und die mögliche Antwort auf die Frage, wie die automatische Pelletzufuhr erfolgt, sind in den folgenden Skizzen dargestellt. (Seitliche Befüllung).

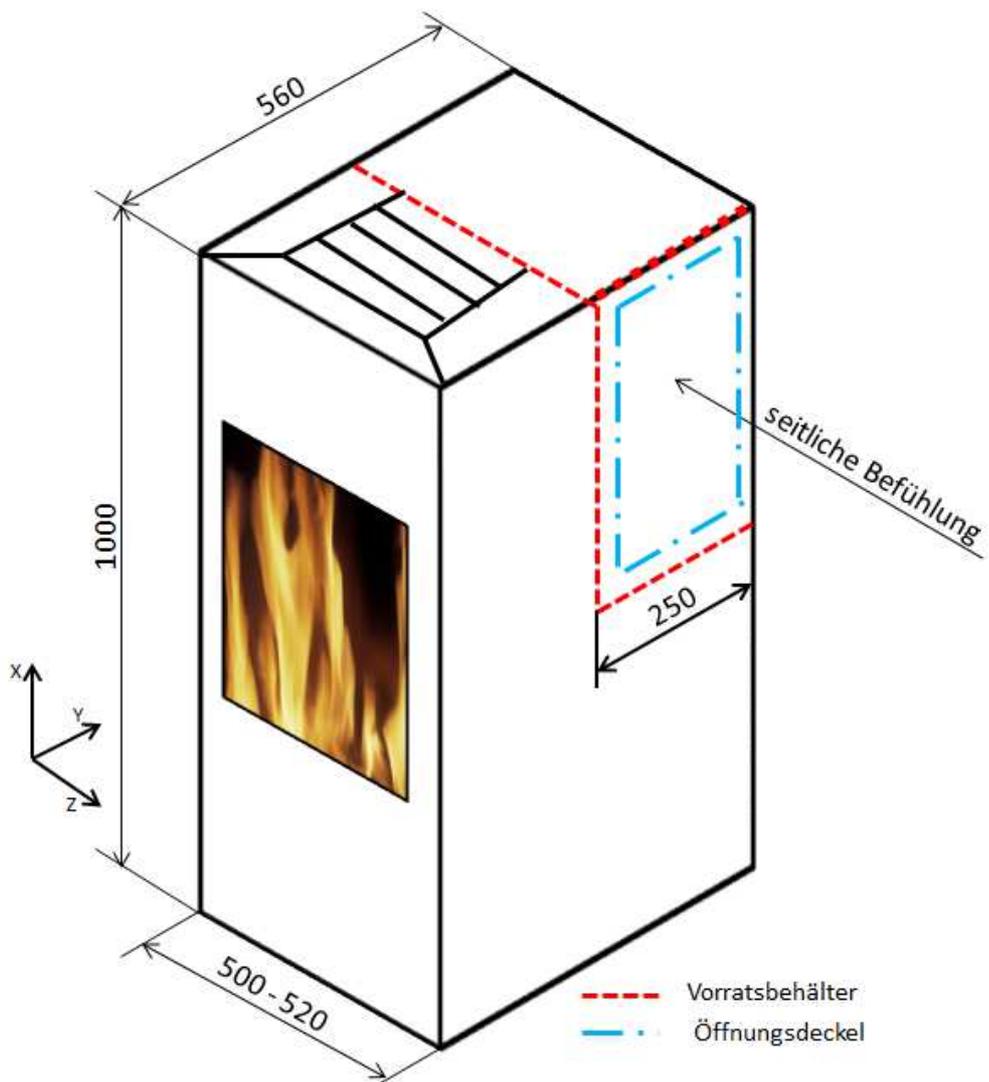


Abbildung 4-18: Die Lösungsvariante einer automatischen Befüllung des Pelletofenvorratsbehälters

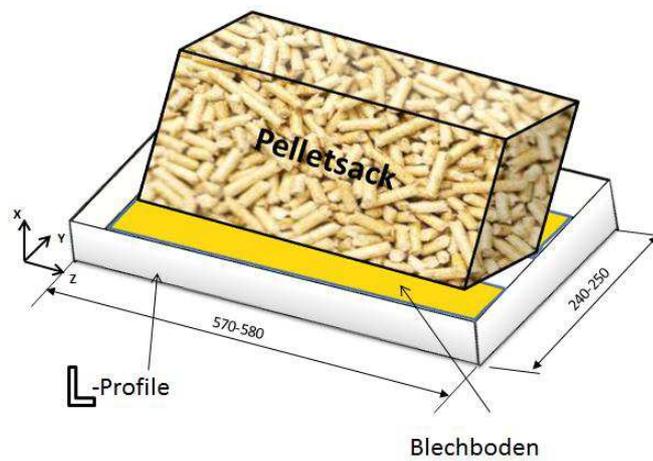


Abbildung 4-19: Der beweglichen Schlitten als Transportmittel für den Pelletsack

## 4.4 Phase III: Entwerfen

In dieser Phase werden die Funktionen von den zum Einsatz kommenden Lösungsprinzipien beschrieben, die sich in der Phase II – Konzipieren – als geeignet Lösungsmöglichkeiten herausgestellt haben. Am Ende dieses Kapitels wird die Gesamtlösung erklärt. Die Abmessungen der Lösungsvarianten und die daraus abgeleiteten Resultate sind für die Konstruktion ausschlaggebend. Neben geometrischen Abmessungen werden auch andere spezifische Angaben, wie die elektrische Spannung, die Maße der Wandverstärkung des Vorratsbehälters, die genauen Befestigungspunkte der Einzelelemente, eventuelle Einbaumöglichkeit und die Verbindungsarten einzelner Elemente dargelegt.

### 4.4.1 Automatische Deckel – BLUM-Lösung

Um den 15-kg-schweren Pelletsack in den Vorratsbehälter zu bringen, ist es zunächst notwendig den Behälter automatisch aufzumachen und somit Platz für den Pelletsack zu schaffen.

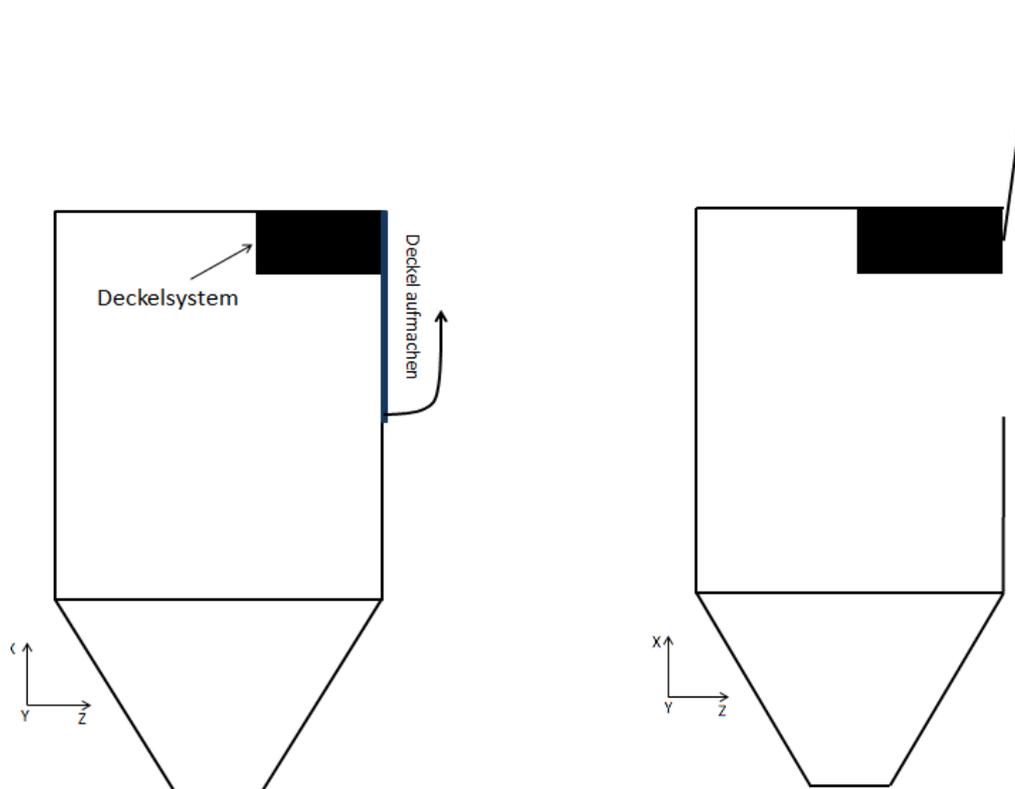


Abbildung 4-20: a) Deckel in Anfangsposition, Behälter geschlossen; b) Deckel in Endposition, Behälter offen

Das Deckelsystem der Firma BLUM erfüllen die oben beschriebene bzw. skizzierte Öffnungsfunktion. Mit diesem System wird der seitliche Deckel nach oben bewegt und damit ist ein freier Durchgang des Schlittens, in oder aus dem Vorratsbehälter, möglich. Die wichtigsten Komponenten dieses Systems sind:

- Deckel
- Kraftspeicher-Set, geeignet für SERVO-DRIVE
- Hebepaket-Set
- Antriebseinheit oder SERVO-DRIVE (Die Antriebseinheit wird werkzeuglos auf den Kraftspeicher montiert)
- SERVO-DRIVE-Schalter (Dieser Schalter wird auf der Deckelseite befestigt. Die Kommunikation zwischen Schalter und Antriebseinheit erfolgt über Funk)

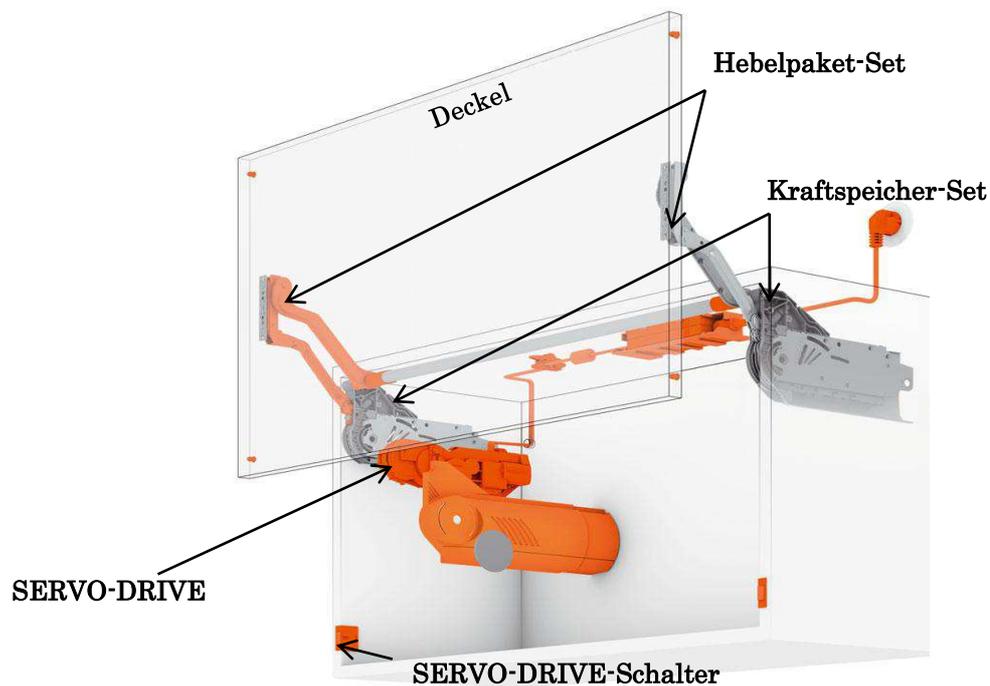


Abbildung 4-21: Die Skizze und Einbaumöglichkeit der wichtigsten Komponenten  
(Quelle: [www.blum.at](http://www.blum.at))

Die folgende Abbildung präsentiert jede einzelne Komponente mit der Artikelnummer und mit der Funktionsbeschreibung.

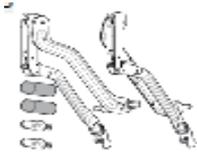
Artikel Nr.	Bezeichnung	Bild	Funktionsbeschreibung
20L2100.05	Aventos HL Kraftspeicher Hochliftklappe		exakt auf Gewicht und Größe des Deckels abgestimmt; öffnet, schließt und stoppt den Deckel; für vollautomatische Ausführung benötigt SERVO-DRIVE Antriebseinheit
21L3200	Aventos HL Hebelpaket SERVO-DRIVE Hochliftklappe		Verbindung zw. Deckel und Kraftspeicher.
21FA000	SERVO-DRIVE für Aventos Antriebseinheit		SERVO-DRIVE ist die elektrische Bewegungsunterstützung. Diese Arbeitseinheit wird werkzeuglos auf den Kraftspeicher aufgesteckt und ermöglicht vollautomatische Deckelbewegung.
	SERVO-DRIVE-Schalter		Über den SERVO-DRIVE-Schalter wird das automatische Öffnen oder Schließen von SERVO-DRIVE Antriebseinheit ausgelöst.

Abbildung 4-22: Die Komponenten - HL- Aventos mit SERVO-DRIVE

#### 4.4.2 Schlitten

Der Schlitten ist die einfachste Komponente in dieser Systemlösung. Der Deckel lässt sich nach oben öffnen und dadurch ist ein Herausfahren des Schlittens möglich. Diese Komponente wird aus L-Profilen (Abmessungen: 20x20x2) in Form eines Rechtecks zusammengeschweisst (Abbildung 4-23 links). Der Blechboden wird das Loch im Inneren des Rechtecks auf eine passende Größe für den Pelletsack verkleinern. Dadurch ist ein Einspannen des Pelletsackes möglich und der Schnitt kann leichter ausgeführt werden. Anschließend wird der Schlitten beidseitig auf die zwei Teleskopschienen (siehe Kapitel 4.4.5) befestigt.

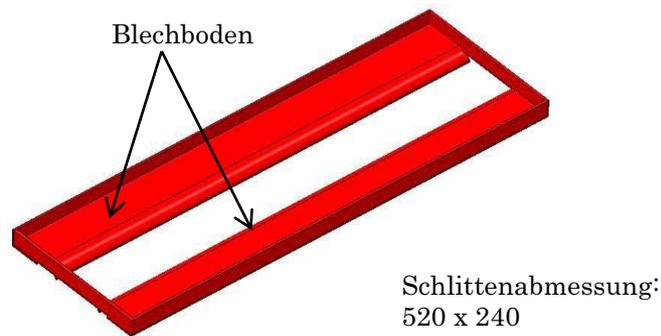
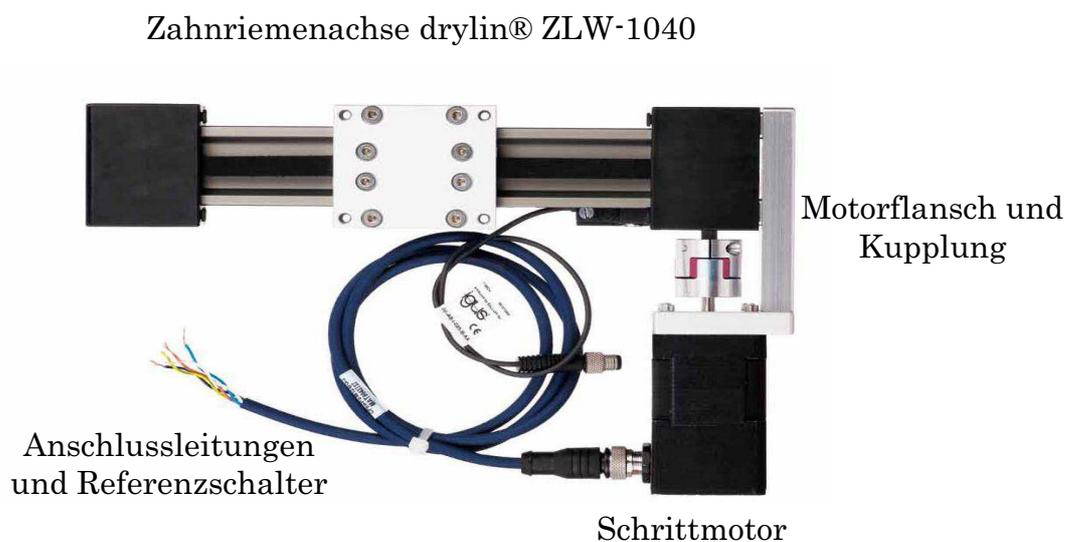


Abbildung 4-23: Der Schlitten

#### 4.4.3 Die Automatisierung des Schlittens–IGUS-Lösung

Die Schlittenbewegung soll ebenfalls automatisch erfolgen. Mit Hilfe des Schlittens müssen die Pelletsäcke in das Innere des Vorratsbehälters transportiert werden. Um den Schlitten beweglicher zu machen, wurden die fertigen Lösungen, das drylin®-Baukastensystem für die Lineartechnik von der Firma IGUS, verwendet. Dieses System besteht aus mehreren Einzelteilen, doch die Hauptkomponenten des Systems sind der Motor und die Lineareinheit (Abbildung 4-24). Da im Vorratsbehälter viel Staub entsteht, ist es von Vorteil, dass die oben genannten Produkte schmutzunempfindlich sind. Die Automatisierung wird mit folgenden Komponenten gelöst:

- Zahnriemenachse drylin® ZLW-1040
- Schrittmotor NEMA 23, mit Stecker, Motorflansch, Kupplung und Schrauben
- Anschlussleitungen
- End- und Referenzschalter

Abbildung 4-24: drylin®-Baukastensystem (Quelle: [www.igus.at](http://www.igus.at))

Ein weiterer Vorteil liegt in der Möglichkeit, dass das Linearsystem als komplette und anschlussfertige Lösung bestellbar ist, es besteht aber auch die Alternative eine eigene Komponente, wie Schrittmotoren und Leitungen einzusetzen. Auch Motoren anderer Produzenten können mittels eines Distanzstücks aus Aluminium und einem Flansch auf der Lineareinheit befestigt werden.

#### 4.4.3.1 NEMA 23-Motor

Die antriebstechnische Lösung stammt aus dem gleichen Unternehmen wie die verwendete Lineareinheit. Es handelt sich hier um einen bipolaren 2-Phasen-Hybridmotor. Der zum Einsatz kommende Motor ist der Schrittmotor der Baureihe NEMA 23 mit Steckeranschluss oder Litzenausführung. Charakteristisch für diesen Motor ist, dass die elektrischen Signale und die Drehbewegung des Schrittmotors in direktem Zusammenhang stehen. Die elektrische Energie wird in präzise mechanische Bewegungen transformiert, so dass jeder elektrische Impuls seinen individuellen Rotationswinkel entspricht (vgl. [GF07]). Die beidseitige Ergänzung, der Motor und die Lineareinheit werden durch die Genauigkeit, einfache Steuerung und den einfachen Einbau bezeichnet. Der Motor arbeitet unter extremen Bedingungen, wie z. B. bei Staub, Schmutz oder Wasser ruhig und zuverlässig. Alle oben genannte Charakteristiken werden im Schrittmotor der Baureihe NEMA 23 verbunden. Außerdem befindet sich der vorher genannte Motor in der oberen Preisklasse. Die lange Lebensdauer ist auch eine der wichtigen Faktoren, die bei der Bestellung dieser Komponente entscheidenden waren.

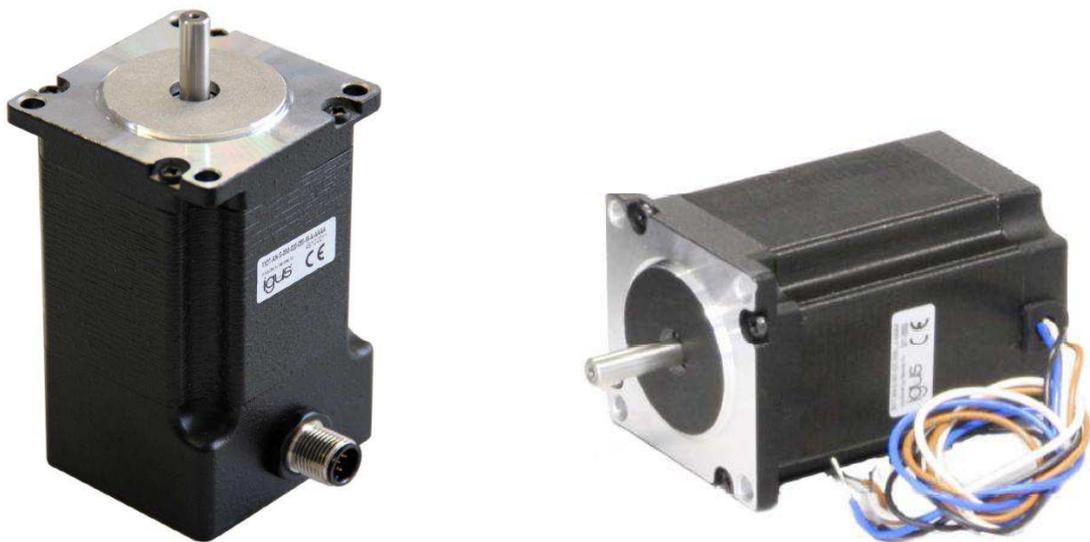


Abbildung 4-25: Steckerversion NEMA 23 (links) und Litzenversion NEMA 23 (rechts)

#### 4.4.3.2 Steuerung

Die Prozessautomatisierung stellt in dieser Diplomarbeit eine indirekte Aufgabe dar. Die Motoren NEMA 23 und BLUM-Lösung sind zwei elektrisch betriebene Antriebseinheiten, die mit geeigneten Steuerungskomponenten bedient werden.

Die Hersteller beider ausgewählter Komponenten vertreiben keine Steuerungsmodulare, deshalb werden vier Lösungsprinzipien der Steuerung aufgelistet und bewertet.

**Lösungsprinzipien für die Steuerung**

*Abstraktion: Das Prozess benötigt eine Steuerung, die den Prozess in gewünschte Richtung führt.*

**Lösungsmöglichkeiten :**

Universelle Motorsteuerung	Schrittmotorsteuerung	Händisch	PC

Abbildung 4-26: Die Teilfunktion „Steuerung“

Bezüglich der Standardisierung	besser (1) oder schlechter (0)				Punkte- summe $\Sigma$	Rang- folge
	Univ. Motorsteuerung	Schrittmotorsteuerung	Händisch	PC		
Univ. Motorsteuerung	-	0	1	1	2	2
Schrittmotorsteuerung	1	-	1	1	3	1
Händisch	0	0	-	0	0	4
PC	0	0	1	-	1	3

Tabelle 4-10: Die Bewertung der Lösungsmöglichkeiten

#### 4.4.4 Teleskopschienen

Das Baukastensystem der Firma IGUS wird zusätzlich mit zwei Teleskopschienen Baureihe LFS 46 unterstützt. Die Teleskopschienen tragen das gesamte Gewicht des Schlittens und des Pelletsackes (ca. 18 kg). Die Stabilisierung des Schlittens und ein leichter und ruhiger Lauf bei ca. 18-kg-Last wird durch die Verwendung der Schienen gewährleistet. Diese Teleskopschienen sind wie alle ausgewählten Teile staubunempfindlich und stellen eine geeignete Lösung für den Zugang zu engen Räumen, in unserem Fall Vorratsbehälter, dar.

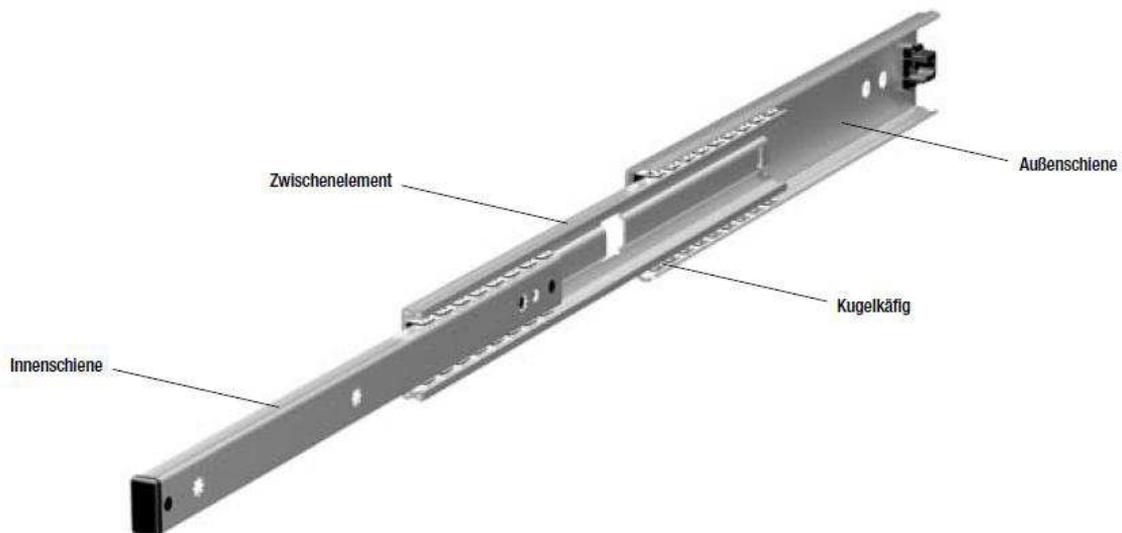


Abbildung 4-27: Teleskopschienen Baureihe LFS 46

#### 4.4.5 Automatisches Schneidsystem

Die Beschreibung dieser Komponente ist eng mit der Versuchsdurchführung aus Kapitel 4.3.6 verbunden. Neben dem Deckelöffnungsmechanismus ist die Klinge der zweitwichtigste Entscheidungsfaktor für die Komponentenkombination. Aus den Versuchen wurde eine geeignete Lösung gefunden, weil die Anforderungsliste ein einfaches und nicht überteuertes Ergebnis verlangt. Die Lösung ist in Form von einer linear beweglichen Klinge gegeben. Die Klinge wird für das zweite im Vorratsbehälter platzierte drylin®-Baukastensystems ZLW-1040 befestigt. Der Schlitten bringt den Pelletsack in eine bestimmte Position in dem Vorratsbehälter. Unter den Pelletsack befindet sich eine linear bewegliche Klinge. Diese Klinge übt einen Schnitt über die gesamte Länge des Pelletsackes aus und bewegt sich wieder zurück in die Anfangsposition. Im fünften Versuch wurde diese Schneidevariante getestet und stellt sich als die am meist geeignete Variante heraus. Parallel mit den Versuchen über die Schneidmöglichkeiten wurden auch die Ausführungen bzw. Abmessungen der Klinge getestet und das Ergebnis der Versuche ist, dass die Klinge aufgrund der Ausführung und Abmessungen eine Sonderanfertigung ist. Laut mehreren Klingenherstellern, die für diesen Zweck kontaktiert wurden, sollte die Klinge nicht dicker als 5 mm sein und als Herstellungsmaterial darf kein rostendes Stahlblech verwendet werden.

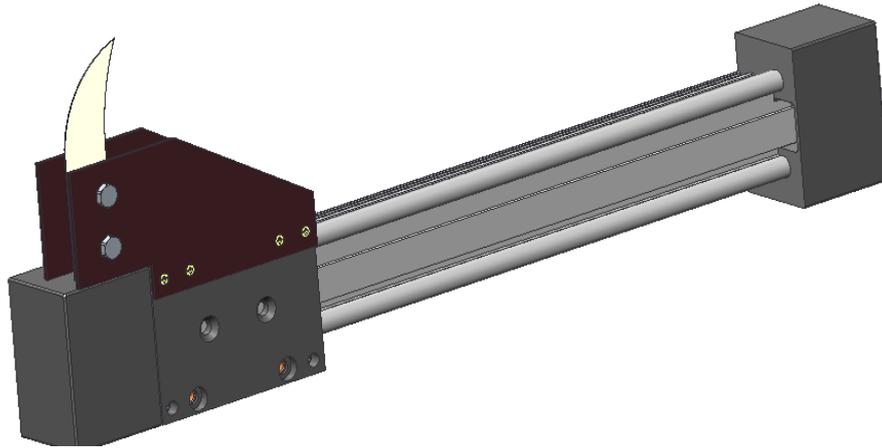


Abbildung 4-28: IGUS-Linearführung mit der befestigten Klinge

#### 4.4.6 Die Beschreibung des Gesamtentwurfes

In diesem Kapitel wird zum ersten Mal das System, die oben beschriebenen Komponenten, vorgestellt. Alle verwendeten Komponenten bilden ein neues System, das in der VDI-Richtlinie 2221 unter dem Namen „der Gesamtentwurf“ zu finden ist. Der Gesamtentwurf stellt den Wendepunkt zwischen Konzeptphase und Entwurfsphase dar. Mit der Entstehung dieses Entwurfs wurde festgestellt, dass der Einbau eines Reservebehälters, aufgrund vorgegebener Behältergeometrie und der Abmessungen des Behälters, nicht möglich ist (siehe Kapitel 1.3) und dass die Vergrößerung der Vorratsbehälter eine proportionale Vergrößerung des gesamten Pelletofens verursacht. Der Reservebehälter wurde als keine Hauptanforderung eingestuft und daher wurde dies nicht weiter untersucht.

Der Beginn für alle Untersuchungen ist die Behälterabmessung, weil alle oben beschriebenen Komponenten schlussendlich im Vorratsbehälter eingebaut werden sollen. Die Entscheidungskriterien für eine brauchbare Lösung sind die Geometrie und die Behälterabmessung. Der Gesamtentwurf stellt ein Kompromiss zwischen Behälterabmessungen, Lösungsmöglichkeiten, Funktionalität, Ergonomie und Preis- und Leistungsverhältnis dar. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Kapitel, dass alle verwendeten Komponenten bereits beschrieben sind und in drei Funktionsgruppen geteilt werden (Abbildung 4-29). Jede von den drei Gruppen besteht aus Einzelkomponenten, wie Schlitten, Schneidsystem, IGUS-Lösung usw., denen für die Lösung eine bestimmte Aufgabe zugeteilt wird. Die Funktionsgruppe alleine bietet keine sinnvolle Lösung der Aufgabe. Somit stellt sich der Gesamtentwurf aus Funktionsgruppen zusammen und dies stellt wiederum eine mögliche Lösung der automatischen und staubfreien Pelletbefüllung dar. Mit dieser Systematik wird der Gesamtentwurf in drei Funktionsgruppen zerlegt, um die technischen Lösungen besser zu verstehen und die möglichen Fehler in früher Entwicklungsphase zu erkennen. Im nächsten Schritt wird der Prozessablauf, von der Aktivierung des Prozesses über die Beladung bis hin zu Entfernung des Sackes, beschrieben.

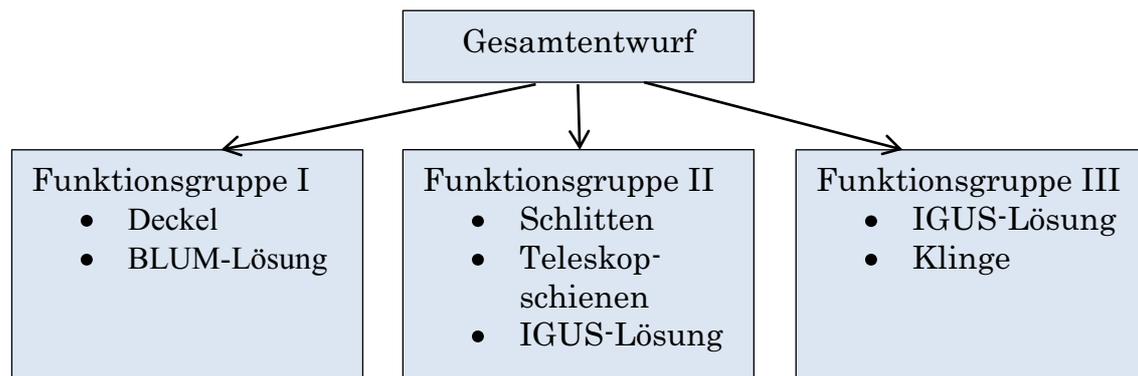


Abbildung 4-29: Systematische Suche nach dem Entwurf

Für die Aktivierung des Prozesses ist die Funktionsgruppe I zuständig. Ein Druck auf die Front des Deckels löst den Prozess aus und der Deckel öffnet sich automatisch. Wenn der Deckel die Endposition erreicht, aktiviert sich anschließend die Funktionsgruppe II. Diese Gruppe besteht aus den drei Einzelkomponenten, dem Schlitten, dem drylin®-Baukastensystem und den Teleskopschienen, die miteinander verbunden sind. In diesem Fall ist der Schlitten die einzige bewegliche Komponente, da die Teleskopschienen und das drylin®-Baukastensystems fest auf den Vorratsbehälterwänden befestigt sind. Der Schlitten fährt aus dem Vorratsbehälter und im Zeitpunkt des Erreichens der Endposition startet die zweite Phase. Der ausgefahrene Schlitten warten auf die Beladung. Dies ist der einzige Prozess bei dem die menschliche Muskelkraft ins Spiel kommt. Die Beladung erfolgt durch das Hochheben des Pelletsackes und anschließender Positionierung auf dem Schlitten. Eine falsche Positionierung des Pelletsackes ist nicht möglich, weil der Pelletsack aufgrund seiner Größe nur in einer Position in den Vorratsbehälter eingefahren werden kann. Nachdem der Pelletsack in die Position gebracht wurde, wird der Druck auf dem SERVO-DRIVE-Schalter ausgeübt. Durch die Betätigung dieses Schalters, schaltet sich das drylin®-Baukastensystem ein, so dass der Schlitten mit dem Pelletsack in den Vorratsbehälter eingefahren wird. Auf dem Schlitten befindet sich ein mechanischer Schalter und wenn der Schlitten vollkommen im Vorratsbehälter ist, stößt dieser an die Behälterwand und damit wird der Deckelmechanismus ausgelöst. Mit dem Auslösen des Deckelmechanismus wird der Vorratsbehälter geschlossen und damit endet die zweite Phase. In dieser Phase wird eine von den zwei Hauptanforderungen, die automatische Nachfüllung, erfüllt. Der fallende Deckel drückt zum dritten Mal den SERVO-DRIVE-Schalter und damit schaltet sich der Deckelmechanismus aus und wird der Klängenmechanismus aktiviert. Der Pelletsack befindet sich nun im Inneren des Vorratsbehälters und wartet auf die dritte Ablaufphase. In dieser Phase wird der Klängenmechanismus aktiviert. Dieser Mechanismus steht genau unter dem Pelletsack. Die scharfe Klinge bewegt sich in Längsrichtung des Sackes und schneidet diesen durch. Der Inhalt des Pelletsackes fließt im Vorratsbehälter aus und damit wird die zweite Hauptanforderung, die staubfreie Nachfüllung, erfüllt. Bei der nächsten Beladung bzw. Wiederholung des Prozesses wird der Pelletsack aus dem Behälter rausgenommen. Aufgrund des besseren Verständnisses wird der oben beschriebene Prozessablauf in dem nachfolgenden Ablaufschema veranschaulicht.

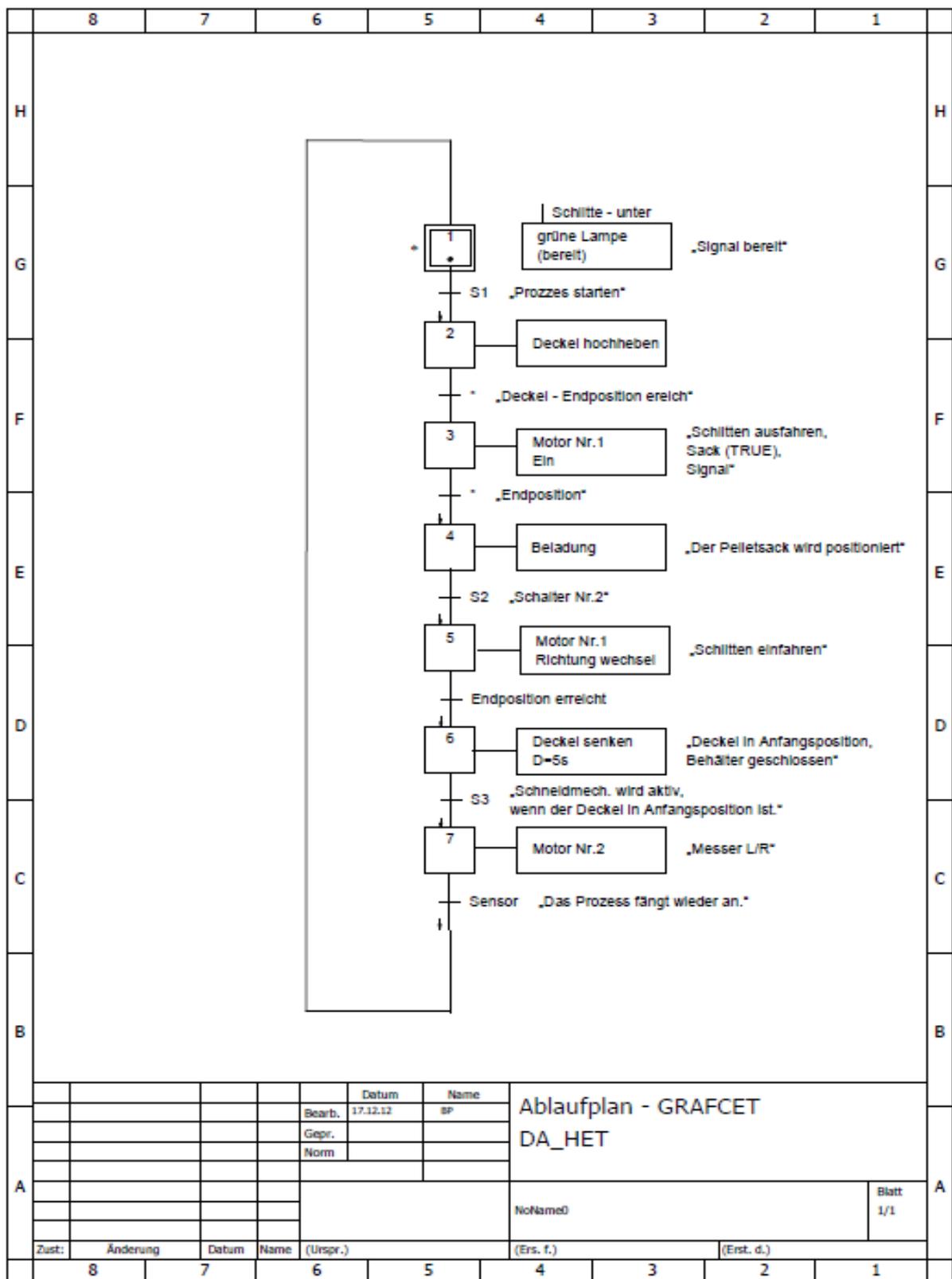


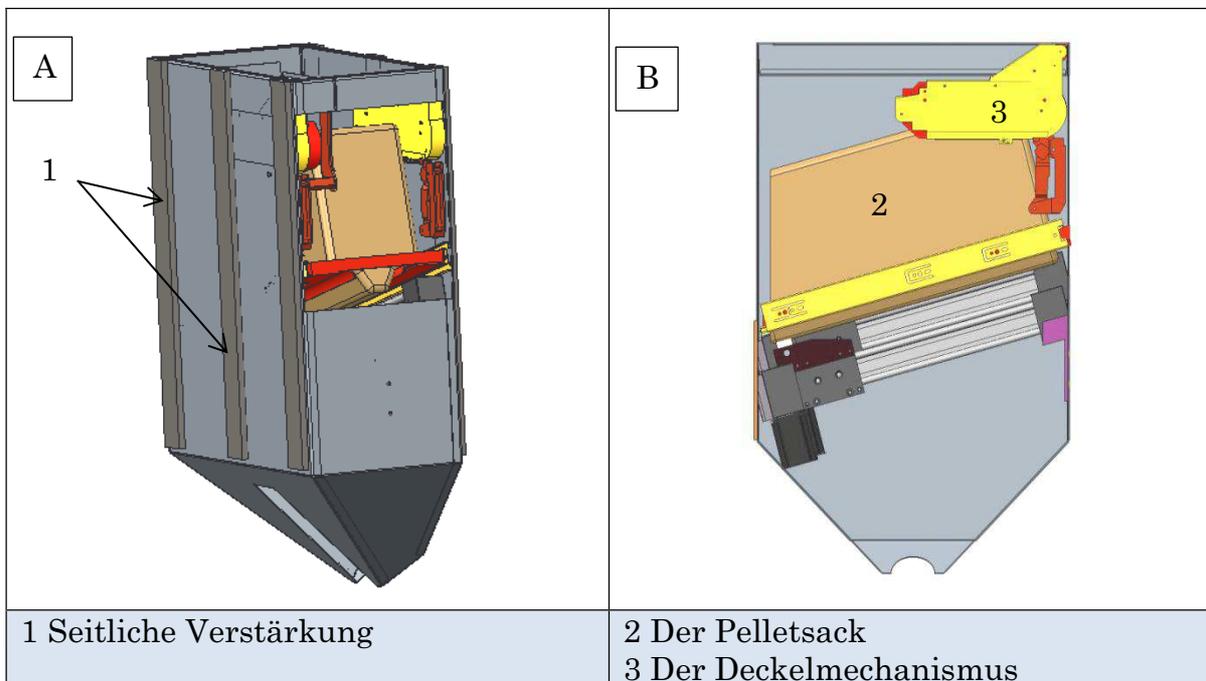
Abbildung 4-30: Das Ablaufschema bei einer automatischen Befüllung des Pelletofenvorratsbehälters [in Anlehnung an DIN EN 60848 GRAFCET]

#### 4.4.7 Die Darstellung des fertigen Produktes

In diesem Kapitel wird das fertige Produkt dargestellt. Das Produkt besteht aus den oben beschriebenen Komponenten, die zusammen mit dem Vorratsbehälter verbunden sind. Diese Komponente bildet eine Konzeptlösung, mit dem die Hauptaufgaben gelöst werden.

Der Vorratsbehälter ist mit seinen Abmessungen (siehe Abbildung 4-1 die Anforderungsliste) das grösste Einzelteil dieses Produktes und wurde aus 2 mm dicken Stahlblech gefertigt. Die Teleskopschienen und die drylin®-Baukastensysteme werden an die Behälterwände befestigt. Daraus folgt, dass die Behälterwände verstärkt werden müssen, wobei für diesen Zweck der Flachstahl 50x10 mm verwendet wird. Diese Wendeverstärkungen werden nicht nur für die Teleskopschienen, sondern auch für die anderen Komponenten benutzt. Das Deckelsystem wird ebenfalls an die Behälterwände, oben links und oben rechts, befestigt. Dabei werden die vorher genannten Verstärkungen für eine bessere und sichere Befestigung des Deckelsystems verwendet.

In den nächsten Abbildungen wird das gesamte Konzept bzw. Produkt veranschaulicht. Mit den unterschiedlichen Ansichten und Schlittenpositionen konnte eine bessere Übersicht über das gesamte Produkt verschafft werden. Die Abbildung 4-31 veranschaulicht die Phasen, wenn der Pelletsack bereits im Vorratsbehälter eingefahren ist.



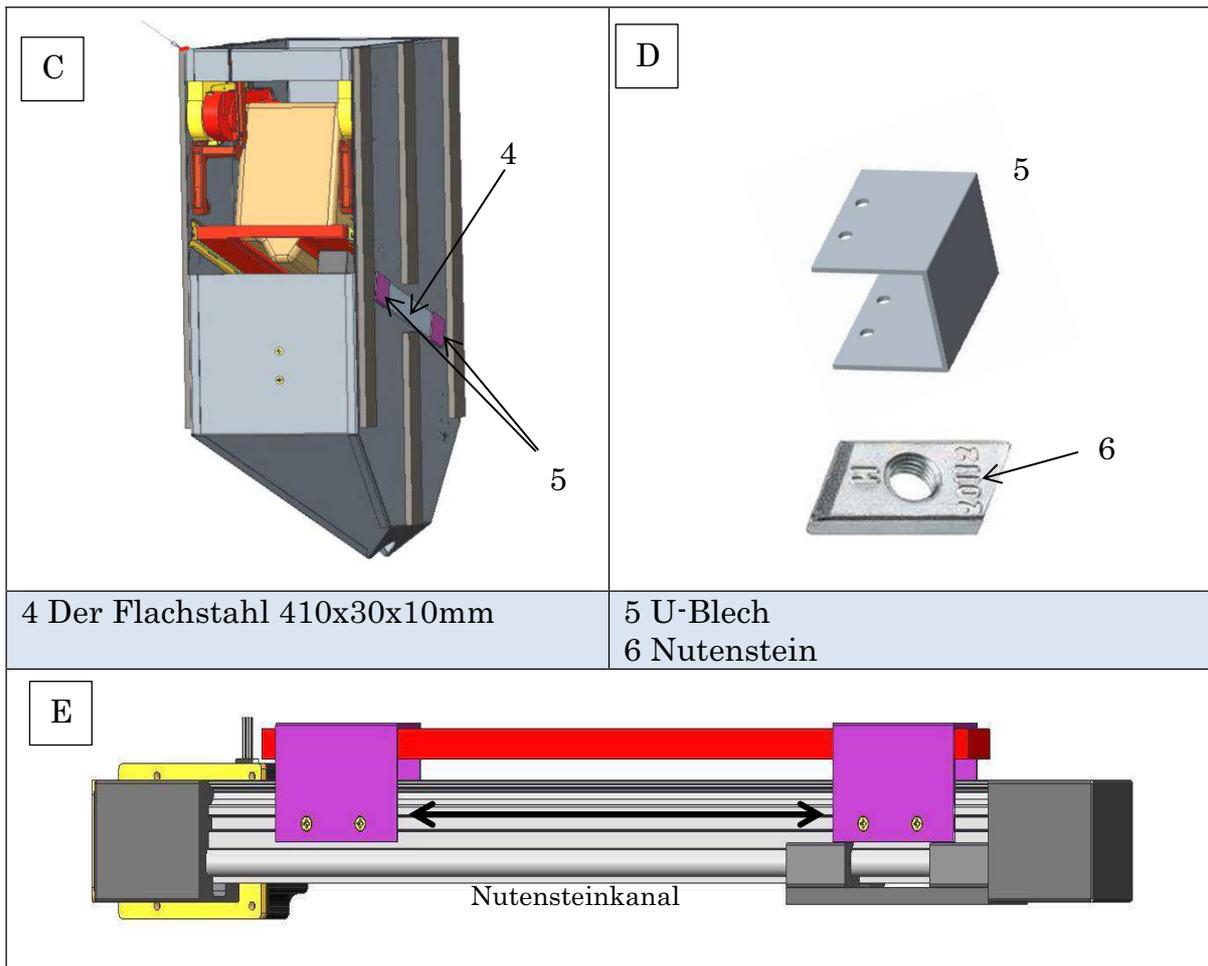
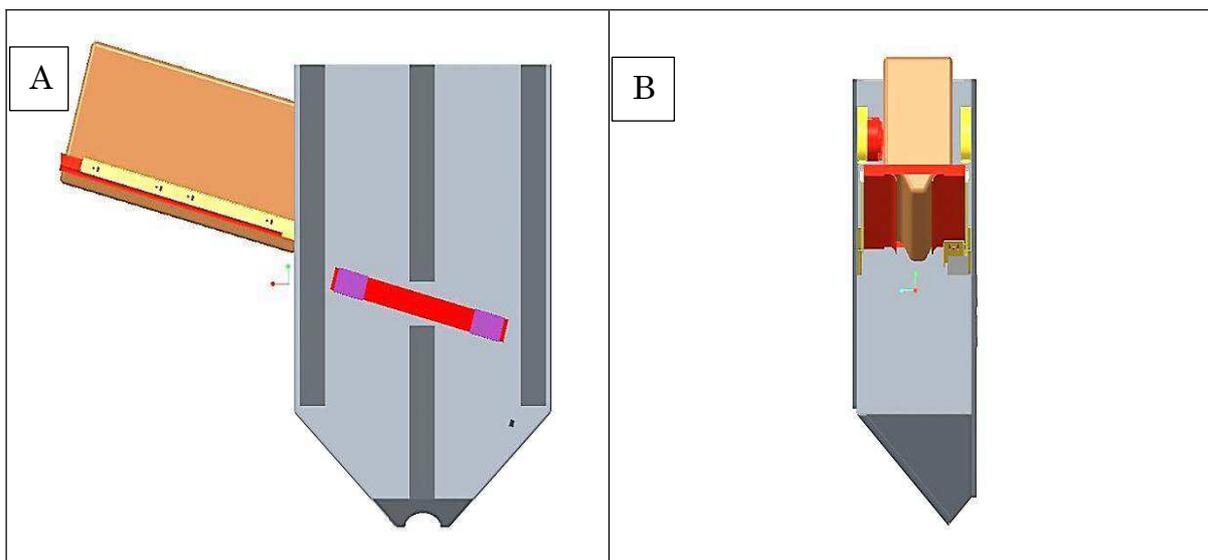


Abbildung 4-31: Das Konzept

Die unterstehende Abbildung 4-32 stellt die zweite Phase dar, die direkt nach der Beladung erfolgt. Die Erkenntnisse aus den durchgeführten Versuchen haben hier ihre direkte Verwendung im Produkt gefunden.



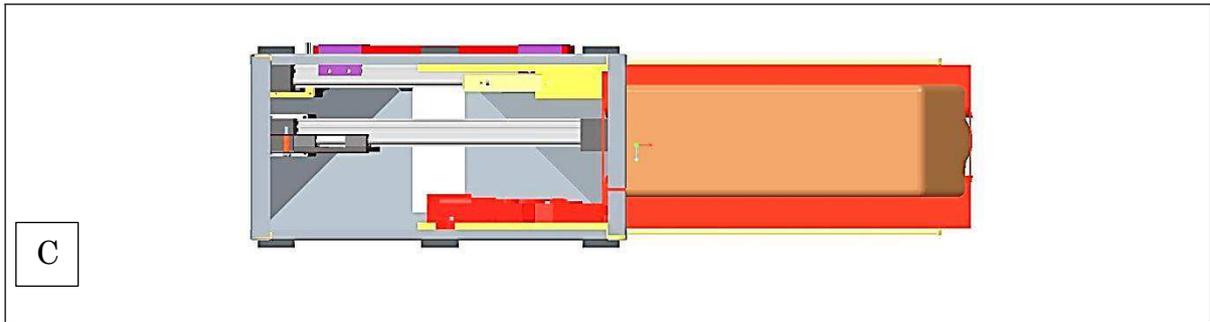


Abbildung 4-32: Das Konzept–Aussenposition

## 4.5 Phase IV – Ausarbeiten

Im vorherigen Kapitel (Phase III – Entwerfen) wurden alle Teilkomponenten beschrieben und es wurde genau erklärt, welche Funktionen die Einzelkomponenten in der gesamten Konstruktion besitzen und ausführen sollen. In diesem Kapitel werden alle Arbeitsschritte der Phase IV – Ausarbeiten – und die für den Konstruktionsprozess verwendeten Hilfsmittel erklärt. Zusätzlich wird das Produkt durch eine Beschaffungsliste verwendeten Komponenten veranschaulicht. Der Computer- und Softwareeinsatz ist während des gesamten Konstruktionsprozesses unabdingbar, womit die Arbeit deutlich erleichtert wird. Das Arbeitsergebnis dieses Kapitels ist die Erstellung verschiedener Arten von Produktdokumentation, wie z. B. die Konstruktionsakte mit Berechnung der verwendeten Komponenten oder die Unterlagen für das Betreiben, die Instandhaltung, Montage bzw. Demontage (vgl. [VDI93]).

### 4.5.1 Die Komponenten-Berechnung

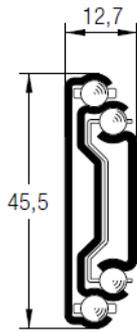
Bei der BLUM-Lösung werden keine weiteren Berechnungen durchgeführt, da die ausgewählten Komponenten für deutlich höhere Lasten ausgelegt sind, als für unser Produkt notwendig.

Die ausgewählte Lineareinheit Typ ZLW-1040-02-B-60-L-520 wird aus massivem Edelstahl gefertigt. Ihre Hauptfunktion ist es, die rotierende Bewegung in eine lineare umzusetzen. Das gesamte Gewicht wird von den Teleskopschienen übernommen und übt dadurch keinen direkten Einfluss auf die Lineareinheit aus. Deshalb ist die Lineareinheit praktisch ohne Gewichtseinfluss und jede weitere Berechnung wäre überflüssig.

Die Teleskopschienen tragen das gesamte Gewicht (ca. 20 kg) und sind somit die am schwersten beanspruchte Komponente dieses Produktes. Für die Teleskopschienen ist vom Hersteller die maximale Traglast angegeben. Um eine sichere Arbeit und lange Lebensdauer gewährleisten zu können, werden die Teleskopschienen nach Empfehlung der Hersteller ausgewählt, die ein Gewicht von 35 kg tragen können. Die ausgewählten Teleskopschienen können fast das doppelte Gewicht, als für das Produkt notwendig, tragen. Aus den internen Daten der Hersteller wurde die maximale Durchbiegung  $f$  bekannt gegeben. Bei einer Belastung von 35 kg beträgt  $f$  0,32 mm und dies wurde mit folgender Formel berechnet:

$$f = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad \text{Gl. 4-1}$$

$f$ : Durchbiegung in [mm]  
 $E$ : Elastizitätsmodul (196 ... 216 Stahl) in [N/mm<sup>2</sup>]  
 $I$ : Flächenträgheitsmoment in [mm<sup>4</sup>]  
 $F$ : Einzellast in [N]



$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = 99691,16 \text{ mm}^4 \quad \text{Gl. 4-2}$$

Alle Daten werden in die Gleichung 4-1 eingesetzt:

$$f = \frac{20 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (250 \text{ mm})^3}{3 \cdot 200 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 99691,16 \text{ mm}^4} = 0,0512 \text{ mm}$$

Wie aus dem Ergebnis ersichtlich kann die Durchbiegung vernachlässigt werden, da diese mit 0,0512 mm weit unter 0,32 mm liegt.

Weitere Berechnungen werden ausschliesslich für die Auswahl des Motors NEMA23 in Verbindung gebracht. Dabei werden das Preisangebot und die vorgeschlagene Motorvariante von der Seite der Firmen noch einmal überprüft. Mit dieser Berechnung wird das optimale Preis-Leistungsverhältnis beim Kauf des Motors gewährleistet. Beim Einfahren oder Ausfahren des Schlittens kommen verschiedene Geschwindigkeiten und Beschleunigungen vor. Für diese zwei Größen wird die Motorleistung bzw. der Motordrehmoment entscheidend sein. Zu dem 15-kg-schweren Pelletsack kommt ein Schlittengewicht von fünf Kilogramm dazu. Die gestellten Anforderungen (siehe Anforderungsliste S. 19) enthalten keine Angaben zur Geschwindigkeit und Beschleunigung. Zur Ermittlung der Geschwindigkeit bzw. der Beschleunigung kommen folgenden Gleichungen zur Anwendung.

$$v = \frac{s}{t} \quad \text{Gl. 4-3}$$

$$a = \frac{v}{t} \quad \text{Gl. 4-4}$$

Aus den zwei Gleichungen geht hervor, dass die Zeit  $t$  als weitere unbekanntes Größe vorkommt. Deshalb wird eine sinnvolle Zeit definiert, die der Schlitten für den Vollauszug braucht, was in der Abbildung 4-33 verdeutlicht wird. Im ersten Teil des Diagramms wird das Anfahren der Schlitten in Dauer von  $t_1=2\text{s}$  gezeigt, danach kommt die lineare Bewegungsphase in Dauer von  $t_2=6\text{s}$  und am Ende das Abbremsphase  $t_3=2\text{s}$ , was insgesamt eine Gesamtzeit von  $t_{\text{ges}}=10\text{s}$  ergibt.

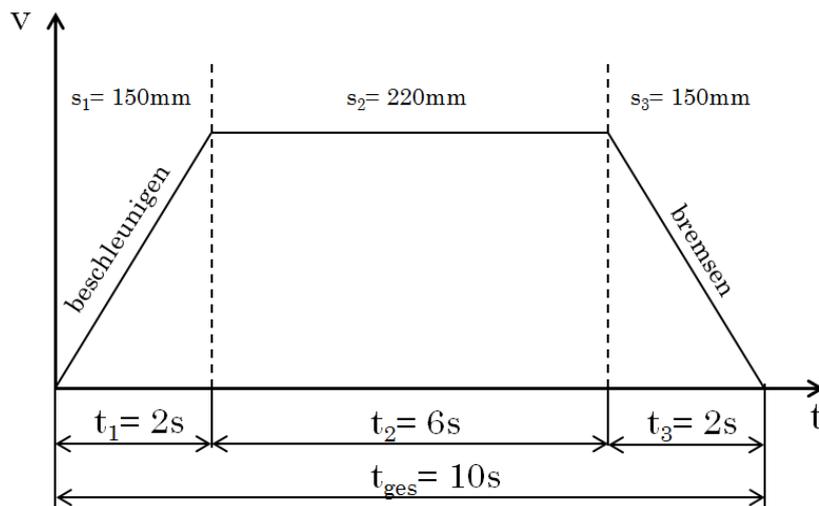


Abbildung 4-33: Geschwindigkeit–Zeit–Verlauf für die Bewegung des Schlittens

Wichtig ist noch zu erwähnen, dass die gesamte Hublänge  $S=S_1+S_2+S_3=520\text{mm}$  beträgt. Die Geschwindigkeit wird nach der Gleichung 4-3 berechnet:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{0,22\text{m}}{6\text{s}} = 0,036 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Die Beschleunigung bzw. Abbremsung wird hingegen nach der Gleichung 4-4 berechnet:

$$a = \frac{v}{t} = \frac{0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2\text{s}} = 0,05 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Daraus folgt, dass der Schlitten nicht zu schnell aus dem Vorratsbehälter ausfahren darf und dass dies eine Verletzungsgefahr für die Bediener darstellen könnte. Mit der ausgewählten Schrittmotorsteuerung wird diese Anforderung erfüllt, da diese eine zeitlich geführten Motorstart, die Motorbremsung und den Betrieb mit einstellbarer Motordrehzahl ermöglicht. Dabei beschleunigt der Motor mit einer vorgegebenen Startdrehzahl auf die eingestellte Maximaldrehzahl. Außerdem sollen alle weiteren am Schlitten wirkenden Kräfte ermittelt werden. Das Motor leistet eine Druck- bzw. Zugkraft, um den Schlitten ein- oder ausfahren zu können. Diese Kraft wird als  $F_{\text{Zug/Druck}}$  bezeichnet (siehe Abbildung 4-34). Während die Gewichtskraft  $G$  in zwei Komponente  $F_z$  in Z-Richtung und  $F_y$  im Y-Richtung zerlegt wird. Dabei ergibt sich folgenden Berechnung:

$$F_z = m * g * \sin\alpha \quad \text{Gl. 4-5}$$

$$F_R = \mu * F_x \text{ wobei } F_x = m * g * \cos\alpha \quad \text{Gl. 4-6}$$

$$F_a = m * g * a \quad \text{Gl. 4-7}$$

Alle Daten werden in die Gleichung 4-8 eingesetzt.

$$F_{\text{Zug}} = F_z + F_R + F_a \quad \text{Gl. 4-8}$$

mit Gesamtmasse  $m_{\text{ges}} = 5\text{kg} + 15\text{kg} = 20\text{kg}$  und Reibkoeffizient  $\mu = 0,1$

$$F_{\text{Zug}} = m * \sin\alpha + \mu * m * \cos\alpha + a * m * \sin\alpha * g \quad \text{Gl. 4-9}$$

$$F_{\text{Zug}} = 72,39 \approx 73 \text{ N}$$

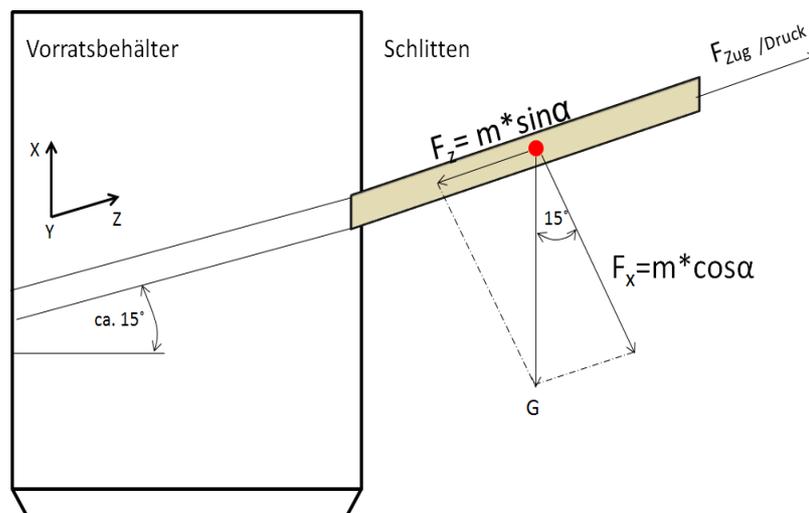


Abbildung 4-34: Ausgangssituation für die Berechnung

Die gesamte Zugkraft wird auf 73N gerundet.

Die Drehbewegung des Motors wird durch die Lineareinheit in Linearbewegung übersetzt. Der Fabrikant gibt eine Übersetzung von 66 mm/U an. Aus diesen Angaben wird der Radius berechnet.

$$U = 2 * r * \pi \quad \text{Gl. 4-10}$$

Durch Umformen auf r ergibt sich der Radius der Umlenkrolle

$$r = \frac{U}{2 * \pi} = 10,5\text{mm} \quad \text{Gl. 4-11}$$

Das Drehmoment für die Umwandlung der Rotationsbewegung in eine Linearbewegung wird mit der Gleichung 4-12 ermittelt:

$$M_{\text{erf}} = F_{\text{Zug}} * r \quad \text{Gl. 4-12}$$

$$M_{\text{erf}} = 73\text{N} * \frac{10,5}{1000} = 0,766\text{Nm}$$

Um den Motor auf seine Charakteristik überprüfen zu können, muss noch dessen Drehzahl bestimmt werden. Mit Hilfe der Gleichung 4-14 wird die Drehzahl ermittelt.

$$v = r * \omega \quad \text{Gl. 4-13}$$

$$n = \frac{\omega}{2 * \pi} \frac{1}{\text{sec}} \quad \text{Gl. 4-14}$$

Umformung der Gleichung 4-13 auf  $\omega$ :

$$\omega = \frac{v}{r} = 9,5238 \frac{1}{\text{s}} \quad \text{Gl. 4-15}$$

Das Ergebnis aus der Gleichung 4-15 wird in die Gleichung 4-14 eingesetzt und daraus ergibt sich die gesuchte Drehzahl:

$$n = \frac{9,5238}{2 * \pi} * 60 = 90,94 \frac{\text{U}}{\text{min}}$$

In der nachfolgenden Abbildung wurden die gewonnenen Daten mit den Daten der Hersteller verglichen. Wie aus der Abbildung ersichtlich kann der ausgewählte Motor NEMA23 problemlos die gestellten Anforderungen erfüllen.

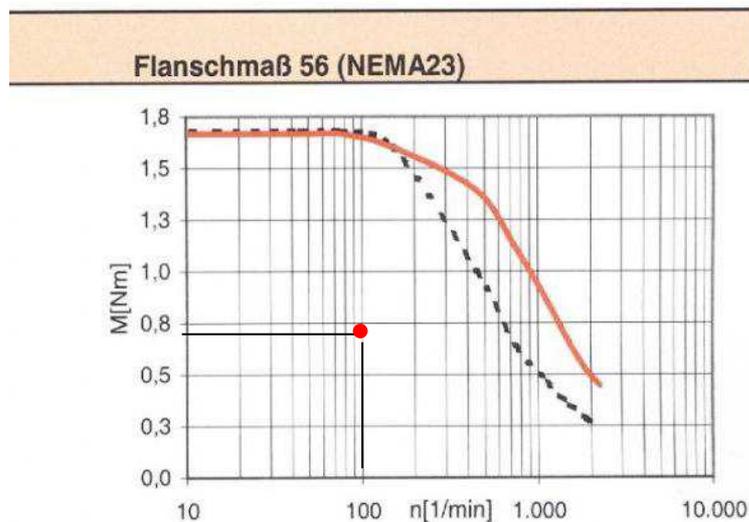


Abbildung 4-35: Die Motorkennlinien NEMA 23

## 4.5.2 Temperatureinfluss

In dem Vorratsbehälter entstehen Temperaturen bis zu ca. 80°C, deshalb soll der Temperatureinfluss auf die Komponenten überprüft werden. Bei der Erwärmung dehnen sich die Komponenten proportional nach allen Seiten aus und sie ziehen sich bei Abkühlung wieder zusammen. Dieses Phänomen wurde unter dem Namen „Eindimensionale Längsänderung“ bekannt und als solches kann dieses verschiedene Auswirkungen auf die Funktionalität des Produktes haben. Die Teleskopschienen befinden sich in einem sehr engen Raum, zwischen den Behälterwänden und dem massivem Schlitten. Die Berechnung wird nur für die temperaturempfindlichste Komponente, im diesem Fall die Teleskopschienen, durchgeführt. Bei der Temperaturerhöhung wird die Behälterwand und der Schlitten, aufgrund der Materialeigenschaften und Konstruktion, die ursprüngliche Abmessung behalten. Der Ausgangspunkt für weitere Berechnung wird eine Raumtemperatur von 20°C angenommen. Deshalb wird die Längsänderung der Teleskopschienen mit folgenden Gleichungen 4-16 berechnet.

$$\Delta l = l_0 * \alpha * \Delta T \quad \text{Gl. 4-16}$$

$\alpha$	Linearer Ausdehnungskoeffizient
$\Delta T$	Die Temperaturdifferenz
$l_0$	Ursprüngliche Länge

$$\Delta l = 500\text{mm} * 0,000011 \frac{1}{\text{K}} * 60\text{K} = 0,33\text{mm}$$

Laut den zwei Teleskopschienenherstellern, die für diesen Zweck kontaktiert wurden, hat die Längsänderung keinen Einfluss auf die Funktionalität der Teleskopschienen.

## 4.5.3 Die Beschaffungsliste

Für alle ausgewählten Komponenten wird eine Beschaffungsliste zusammengestellt. Auf dieser Liste sind Artikelnummern, die Stückzahl und die Preise angegeben. Die Preise sind den aktuellen Preisen zum Zeitpunkt der Fertigung dieser Liste angepasst. Die Beschaffungsliste dient sowohl als „Einkaufsliste“ als auch um einen Überblick zu erhalten (siehe Anhang).

## 4.5.4 Die Betriebsanleitung

Die Betriebsanleitung wird direkt nach dem Bau des Prototyps erstellt und für den Kunden als Informationsmaterial über neue Funktionen des Ofens vorgestellt.

## 5 Zusammenfassung

Das Hauptproblem dieser Diplomarbeit liegt in der automatischen Befüllung des Pelletofenvorratsbehälters mit Holzpellet. Die Ursache dafür liegt in der ergonomischen, leichteren sowie staubfreien Befüllung.

Anhand der Brainstorming-Methode wurden zunächst mehrere Ideen gesammelt. In weiterer Folge wurde durch die Methode 635 drei Ideen ausgewählt, die weiter untersucht werden sollten. Im Anschluss wurden die Phasen der VDI-Richtlinie bearbeitet. In der ersten Phase wurde eine Anforderungsliste erstellt. Die Phase zwei setzt sich aus der Konzepterstellung der drei Ideen zusammen. Im Anschluss wurden die drei Konzept mit Hilfe der Methode „Vor-/Nachteil-Vergleich“ bewertet und hier stellte sich heraus, dass das Konzept III am meisten geeignet ist. In derselben Phase wurden die Teilfunktionen aufgelistet. Anschließend wurden diese sowie die Lösungsmöglichkeiten in einen morphologischen Kasten gebracht. Durch den morphologischen Kasten wurde eine prinzipielle Lösung ermittelt. Auf die Phase II „Konzepterstellung“ folgt die dritte Phase „Entwerfen“. In der Phase III wurde das funktionsfähige Konstrukt, mit allen verwendeten Komponenten, dargestellt. Die Ausarbeitung des Produktes erfolgt in der vierten Phase.

An der rechten Seite des Pelletofen befindet sich der Deckel des Vorratsbehälters für die Holzpellet. Durch leichte Druckausübung auf den Deckel wird dieser geöffnet. Erst wenn der Deckel die Endposition erreicht, kann der Schlitten automatisch aus dem Vorratsbehälter ausfahren. Der Bediener hebt nun den Pelletsack und platziert diesen auf den herausgefahrenen Schlitten. Nach dem Platzieren des Sackes wird der einzige Schalter an dem Pelletofen bedient. Durch das Drücken des Schalters wird der Schlitten hineingefahren und der Deckel wieder geschlossen. In diesem geschlossenen Behälter befindet sich, neben dem Schlitten und Pelletsack, ein in der Mitte platziertes Schneidesystem. Erst wenn der Deckel vollkommen geschlossen ist, wird das Schneidesystem automatisch ausgelöst. Mit diesem System wird der entscheidende Schnitt, an der unteren Seite und durch die Mitte des Pelletsackes durchgeführt und in dem Moment fließen die Pellets aus dem Sack heraus. Der leere Pelletsack wird bei der nächsten Befüllung per Hand entfernt.

Mit dieser Lösung werden die, an das Konzept, gesetzten Anforderungen, in Hinblick auf die ergonomische, staubfreie sowie leichte Befüllung des Vorratsbehälters, erfüllt. Als Ergonomie wird die Automatisierung der Befüllung betrachtet. Die durch die Automatisierung erwartete Erleichterung wird mit dem beweglichen Schlitten erfüllt. Die Befüllung des Pelletofens durch die Holzpellet erfolgt erst wenn der Deckel vollkommen geschlossen ist und dadurch wird kein Staub in der Wohnung verteilt.

Das Verbesserungspotenzial besteht in dem Schneidesystem und der Pelletsackpositionierung. Außerdem sollt die Entleerung des Pelletsackes im 100-

prozentige Bereich liegen. Eine auf die Praxis bezogen Umsetzung des Konzeptes ist für die weitere Konzeptoptimierung erforderlich. Damit könnte ein Überblick über alle Komponenten und deren Funktionen geschaffen werden.

## 6 Verzeichnisse

### 6.1 Literaturverzeichnis

- [[BUN11]** Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. 2011. *Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2011*. Wien : Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2011.
- [EHR95]** Ehrlenspiel, Klaus. 1995. *Integrierte Produktentwicklung: Methoden für Prozessorganisation, Produkterstellung und Konstruktion*. München, Wien : Carl Hanser Verlag, 1995. 3-446-15706-9.
- [EKL07]** Ehrlenspiel, Klaus, Kiewert, Alfonso und Lindemann, Udo. 2007. *Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung*. Berlin, Heidelberg, New York : Springer, 2007. 978-3-540-74222-7.
- [Han65]** Friedrich, Hansen. 1965. *Konstruktionssystematik*. Berlin : VEB Verlag Technik, Berlin, 1965.
- [GF07]** Grote, Karl-Heinrich und Feldhusen, Jörg. 2007. *Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau*. Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 2007. 978-3-540-49714-1.
- [SCH89]** Helmut, Schlicksupp. 1989. *Innovation, Kreativität und Ideenfindung*. Würzburg : VOGEL Buchverlag Würzburg, 1989. 3-8023-0650-3.
- [JAN04]** Janzing, Bernward. 2004. Der Holzofen aus der Werkstatt eines Flugingenieurs. *Pellets, Markt und Technik*. Monatlich, Januar 2004.
- [KHH09]** Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann, Hermann Hofbauer (Hrsg.). 2009. *Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren*. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2009. ISBN 978-3-540-85094-6.
- [CHR12]** Münch, Christian. [Online] Agenios GmbH. [Zitat vom: 1. 12 2012.] <http://www.pelletheizung.info/impressum>.
- [OT09]** Obernberger, Ingwad und Thek, Gerold. 2009. *Herstellung und energetische Nutzung von Pellets*. Graz : Techn. Univ. Graz, Inst. für Prozesstechnik, 2009. 978-3-9501980-5-8.
- [ÖNO09]** 2009. ÖNORM EN 14961-1. *Feste Biobrennstoffe - Brennstoffspezifikationen und -klassen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen*. Wien : Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2009.
- [PBF05]** Phal, Gerhard, et al. 2005. *Pahl/Beitz Konstruktionslehre*. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005. 978-3-540-22048-0.
- [PL11]** Ponn Josef, Lindemann Udo. 2011. *Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte*. Heidelberg Dordrecht London New York : Springer, 2011. 978-3-642-20579-8.
- [PRO12]** ProPellets. [Online] proPellets Austria - Netzwerk zur Förderung der Verbreitung von Pelletsheizungen. [Zitat vom: 2. September 2012.] <http://www.propellets.at/>.
- [RIK12]** RIKA Innovative Ofentechnik GmbH. Rika. [Online] RIKA Innovative Ofentechnik GmbH. [Zitat vom: 3. 10 2012.] <http://www.rika.at>.
- [STA11]** STATISTIK AUSTRIA. 2011. STATISTIK AUSTRIA. [Online] Bundesanstalt Statistik Österreich, 14. November 2011. [Zitat vom: 2. Dezember 2012.] <http://www.statistik.at>.

- [VDI05] **VDI/VDE-Richtlinien. 2005.** Lasteheft/Pflichtenheft für den Einsatz von Automatisierungssystemen. Düsseldorf : Beuth Verlag GmbH, 2005.
- [VDI97] **VDI-Richtlinien. 1997.** VDI 2222 Konstruktionsmethodik Methodische Entwickeln von Lösungsprinzipien. Düsseldorf : Beuth Verlag GmbH, 1997.
- [VDI93] —. **1993.** VDI-Richtlinie 2221 Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf : Beuth Verlag GmbH, 1993.
- [VDI01] —. **2001.** VDI-Richtlinie 2519 Vorgehensweise bei der Erstellung von Lasten-/Pflichtenheft. Düsseldorf : Beuth Verlag GmbH, 2001.

## 6.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Pellets .....	1
Abbildung 1-2: Der Pelletofen von der Firma Rika .....	2
Abbildung 1-3: Kenngrößen der österreichischen Pelletindustrie und des Pelletmarktes. ....	4
Abbildung 1-4: HET – Pelletofen und Vorratsbehälter .....	5
Abbildung 1-5: Vorratsbehälter Nachfüllen.....	6
Abbildung 2-1: Systematisches Vorgehensmodell in unterschiedlichen Lebensphasen des Systems in Anlehnung an [VDI93] und [EHR95] .....	8
Abbildung 2-2: Lebensphase eines System (links) und eines Produktes (rechts). .	9
Abbildung 3-1: Das Vorgehen bei der Konstruktion neuer technischer Produkte .....	16
Abbildung 4-1: Die Anforderungsliste.....	19
Abbildung 4-2: Konzeptvariante I.....	20
Abbildung 4-3: Konzeptvariante II.....	21
Abbildung 4-4: Konzeptvariante III .....	21
Abbildung 4-5: Die Darstellung der Black-Box des Vorratsbehälters .....	23
Abbildung 4-6: Die innere Struktur des Vorratsbehälters.....	24
Abbildung 4-7: Kombination der Teilfunktionen (vgl. [VDI93] .....	26
Abbildung 4-8: Die Teilfunktionen 1 und 5, die Automatisierung des Deckels ...	28
Abbildung 4-9: Die Teilfunktion 2 und 4, Fördermittel / Transport des Pelletsackes .....	28
Abbildung 4-10: Die Teilfunktion 3, der Pelletsack beladen/entladen .....	29
Abbildung 4-11: Die Teilfunktion 6, der Pelletsack aufschneiden.....	29
Abbildung 4-12: Versuch Nr. 1, der Pelletsack wird mittig geschnitten. ....	33
Abbildung 4-13: Versuch Nr. 2, Wickelwelle – Schnitt von unten.....	33
Abbildung 4-14: Versuch Nr. 3, Anhängen .....	34
Abbildung 4-15: Versuch Nr. 4, mehrerer Klingen auf einer geneigten Rollenbahn .....	35
Abbildung 4-16: Versuch Nr. 5, der Pelletsack ist seitlich platziert und der Schnitt wird auch seitlich ausgeführt.....	37
Abbildung 4-17: Morphologischer Kasten über die Lösungsmöglichkeiten zur automatischen Nachfüllung von Pelletöfen .....	5
Abbildung 4-18: Die Lösungsvariante einer automatischen Befüllung des Pelletofenvorratsbehälters .....	41
Abbildung 4-19: Der beweglichen Schlitten als Transportmittel für den Pelletsack .....	41
Abbildung 4-20: a) Deckel in Anfangsposition, Behälter geschlossen; b) Deckel in Endposition, Behälter offen.....	42
Abbildung 4-21: Die Skizze und Einbaumöglichkeit der wichtigsten Komponenten (Quelle: www.blum.at) .....	43
Abbildung 4-22: Die Komponenten - HL- Aventos mit SERVO-DRIVE.....	44
Abbildung 4-23: Der Schlitten .....	45
Abbildung 4-24: drylin®-Baukastensystem (Quelle: www.igus.at) .....	45
Abbildung 4-25: Steckerversion NEMA 23 (links) und Litzenversion NEMA 23 (rechts).....	46
Abbildung 4-26: Die Teilfunktion „Steuerung“ .....	47
Abbildung 4-27: Teleskopschienen Baureihe LFS 46.....	48

Abbildung 4-28: IGUS–Linearführung mit der befestigten Klinge .....	49
Abbildung 4-29: Systematische Suche nach dem Entwurf.....	50
Abbildung 4-30: Das Ablaufschema bei einer automatischen Befüllung des Pelletofenvorratsbehälters [in Anlehnung an DIN EN 60848 GRAFCET] ...	51
Abbildung 4-31: Das Konzept .....	53
Abbildung 4-32: Das Konzept–Aussenposition .....	54
Abbildung 4-33: Geschwindigkeit–Zeit–Verlauf für die Bewegung des Schlittens .....	57
Abbildung 4-34: Ausgangssituation für die Berechnung .....	58
Abbildung 4-35: Die Motorkennlinien NEMA 23 .....	59

### 6.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Grundtätigkeiten und begleitende Tätigkeiten beim Konstruieren (Quelle: [EHR95]) .....	11
Tabelle 3-2: Zeitliche Häufigkeit von Phasen und Tätigkeiten in Konstruktionsabteilungen (Quelle: [EHR95]) .....	12
Tabelle 3-3: Empfohlene Methoden der Ideenfindung (Quelle: [SCH89] ) .....	14
Tabelle 3-4: Zusammenfassung wesentlicher Anwendungsmerkmale der Methoden zur Ideenfindung. (Quelle: [SCH89] ) .....	14
Tabelle 4-1: Anforderungen an alle Konzeptvariante .....	22
Tabelle 4-2: Bewertung der Varianten.....	22
Tabelle 4-3: Verschiedene Automatisierungsmöglichkeiten .....	27
Tabelle 4-4: Auswahlliste für die Automatisierung.....	27
Tabelle 4-5: Die Bewertung der Lösungsmöglichkeiten der Teilfunktion 1 und 5, die Automatisierung des Vorratsbehälters .....	30
Tabelle 4-6: Die Bewertung der Lösungsmöglichkeiten der Teilfunktionen 3, Pelletsack beladen / entladen .....	30
Tabelle 4-7: Die Bewertung der Lösungsmöglichkeiten der Teilfunktionen 2 und 4, Fördermittel / Transportmittel.....	31
Tabelle 4-8: Die Bewertung der Lösungsmöglichkeiten der Teilfunktionen 6, Säcke aufschneiden.....	31
Tabelle 4-9: Auswahl der geeignete Variante für die Pelletsackentleerung .....	37
Tabelle 4-10: Die Bewertung der Lösungsmöglichkeiten.....	47

## 7 Anhang

### 7.1 Anhang A – veröffentlichter Kurzttext

Publizierte Kurzfassung der Arbeit aus dem TUG-online –System in deutscher und englischer Sprache.

#### 7.1.1 A1 Deutsch

Bei dieser Diplomarbeit geht es um die Konzeptentwicklung für eine automatische Pelletzuführung für das Unternehmen HET-Energie in Seekirchen am Wallersee. Bei den herkömmlichen Pelletofen ist die Nachfüllung des Vorratsbehälters mit einer großen Menge an Muskelkraft verbunden. Dazu kommt noch jede Menge Staub, der bei der Nachfüllung über den ganzen Raum zerstreut wird. Deshalb soll die Nachfüllung des Vorratsbehälters auf eine ergonomische und saubere Art und Weise erfolgen. Gleich nach der Aufgabenklärung wird eine methodische Suche nach neuen Ideen und eventuellen Konzeptlösungen gestartet. Die sogenannte Novität, bei der das Grundprinzip des Pelletofens und die Form gleich geblieben sind, wird mit dieser automatischen Pelletzuführung erweitert. Die Interessen an diesen Erweiterungen sind ausschlaggebend für den Erfolg des neuen Produktes. Eine ordnungslose und unstrukturierte Entwicklung bringt viele Fehler mit sich, die sich vor allem in der späteren Entwicklungsphase des Konzepts als unbrauchbar erweisen kann. Deshalb wird für die Entwicklung eines neuen Produktes die allgemein anwendbare Methodik zum Entwickeln und Konstruieren verwendet. Wesentliche anwendbare methodische Grundlagen sind in der VDI-Richtlinie 2221 dargestellt und sie werden als solche durch die gesamte Arbeit geprägt. Als Ergebnis der methodischen Untersuchung wird der Gesamtentwurf als potenzielle Lösung für die gestellte Aufgabe vorgestellt.

### **7.1.2 A2 Englisch**

This thesis deals with the development of a product design for an automatic conveyance of pellets for the Austrian company HET-Energy in Seekirchen am Wallersee. The refill of pellets into a common pellet oven usually requires enormous physical strength and such a refill causes formation of dust throughout the whole room as well. Therefore, the refill of the supply tank of a pellet oven should happen in an ergonomic and clean way. After clarifying the main task, we will start a methodological search for new ideas and potential solutions. The new product, that has maintained the basic principal as well as the same shape of the pellet oven, will have an automatic conveyance for pellets in addition. The interest in such an additional feature is crucial for the success of the new product. An unstructured development of new ideas could involve many difficulties and errors, which in later period of development could turn out to be useless. In order to avoid any problems, we will use for the development of the new product the universally applicable approach to develop and design, according to the VDI directive 2221: Systematic Approach to the Design of Technical Systems and Products. Finally and as a result of the systematic approach, we will present the overall design of the potential solution.

## 7.2 Anhang B – Zusatzinformationen

### 7.2.1 Die Beschaffungsliste

Pos.	Bezeichnung	Artikelnummer	Menge (Stk.)	Preis
1.	DryLin Zahnriemenachse Basis-Version	ZLW-1040-02-B-L/R	2	500,00
2.	Motor NEMA 23, mit Stecker, Motorflansch, Kupplung und Schrauben	MK-0091	2	570,00
3.	AVENTOS HL Kraftspeicher Hochliftklappe (2 x Kraftspeicher symmetrisch, 10 x Spanplattenschrauben $\varnothing$ 4 x 35 mm)	20L2100.05	1	51,00
4.	Hebelpaket-Set SERVO-DRIVE für AVENTOS HL 1 x SERVO-DRIVE Hebelpaket links, 1 x Hebelpaket rechts, 2 x Aufnahme für ovale Querstabilisierung (Stahl), 2 x Abdeckkappe für ovale Querstabilisierung.	21L3200	1	55,00
5.	SERVO-DRIVE-Set für AVENTOS Set bestehend aus: 1 x Antriebseinheit, 1 x Verteilerkabel (1.500 mm), 1 x Verbindungsknoten,	21FA000	1	246,00
6.	LIGHT RAIL Voll- und Teilauszüge Teleskopschiene		1	10,00
7.	Stahlblech-Schwarzblech		1 m <sup>2</sup>	10,00
8.	Schrauben Niete			20,00
9.	Stahl für Schlitten (ca. 2 m)		2 m	6,00
<b>Summe:</b>				<b>1468,00 €</b>

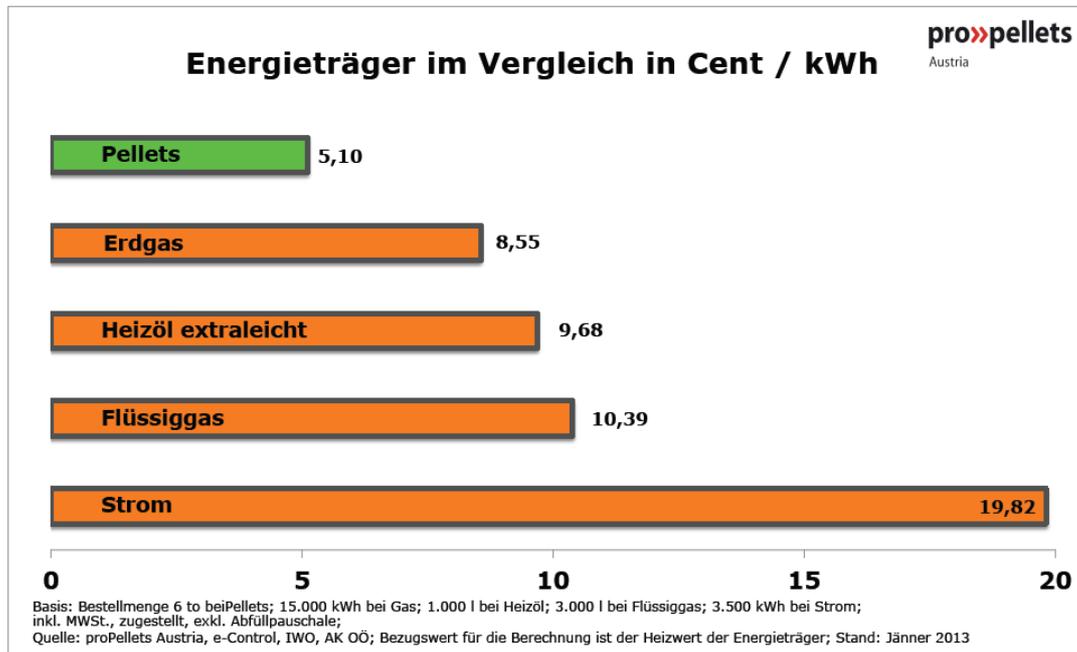
## 7.2.2 Das Motordatenblatt – NEMA 23

Schrittmotoren MOT-AN-S . . .

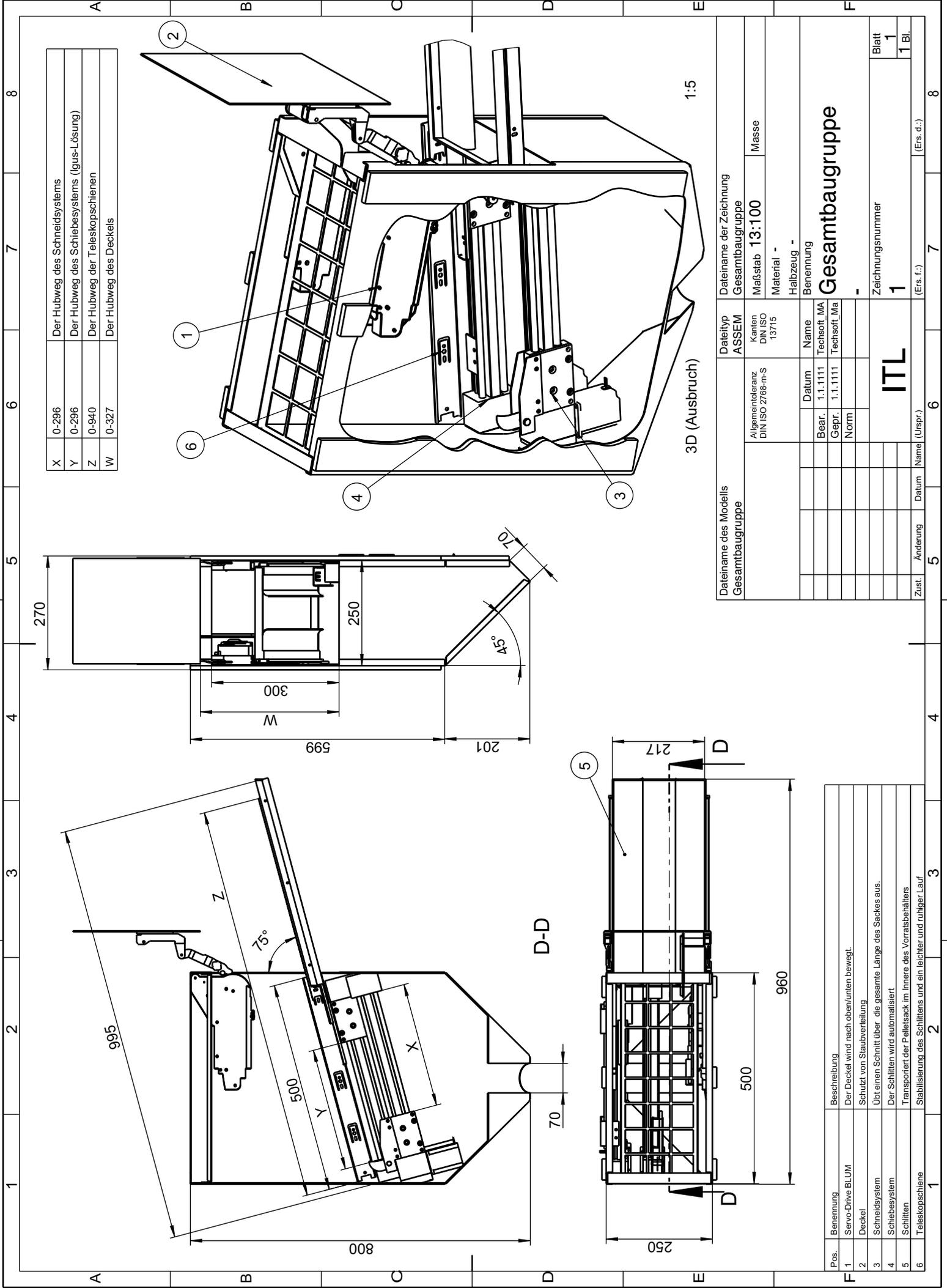


Technische Daten			
Flanschmaß		42 (NEMA17)	56 (NEMA23)
<b>Motor</b>			
Maximalspannung	[VDC]	60	60
Nennspannung	[VDC]	24-48	24-48
Nennstrom	[A]	1,8	4,2
Haltemoment	[Nm]	0,5	2,0
Rastmoment	[Nm]	0,022	0,068
Schrittwinkel	°	1,8	1,8
Widerstand/Phase	[Ω]	1,75±10%	0,50±10%
Induktivität/Phase	[mH]	3,30±20%	1,90±20%
Massenträgheitsmoment Rotor	[kgcm <sup>2</sup> ]	0,08	0,48
Wellenbelastung, axial	[N]	7	15
Wellenbelastung, radial	[N]	20	52
<b>Encoder</b>			
Betriebsspannung	[VDC]	5	
Impulse/Umdrehung	[1/min]	500	
Nullimpuls/Index		ja	
Line Treiber		RS422 Protokoll	
<b>Bremse</b>			
Betriebsspannung	[VDC]	24±10%	
Leistung	[W]	8	10
Haltemoment	[Nm]	0,4	1,0
Massenträgheitsmoment	[kgcm <sup>2</sup> ]	0,01	0,02
<b>Gewichte</b>			
Produktgewicht	[kg]	0,32	1,12
mit Encoder	[kg]	0,34	1,14
mit Encoder und Bremse	[kg]	0,58	1,36
<b>Betriebsdaten</b>			
Umgebungstemperatur	[°C]	-10 ...+50	
Temperaturanstieg max. zulässig	[°C]	80	
Isolationsklasse		B	
Luftfeuchtigkeit (nicht kondensierend)	[%]	85	
Schutzklasse Motorgehäuse		IP65 (Wellenabdichtung IP52)	
CE Erklärung		EMV Richtlinie	

## 7.3 Anhang C – Pelletpreis



## **7.4 Anhang D – 2D Baugruppenzeichnungen**

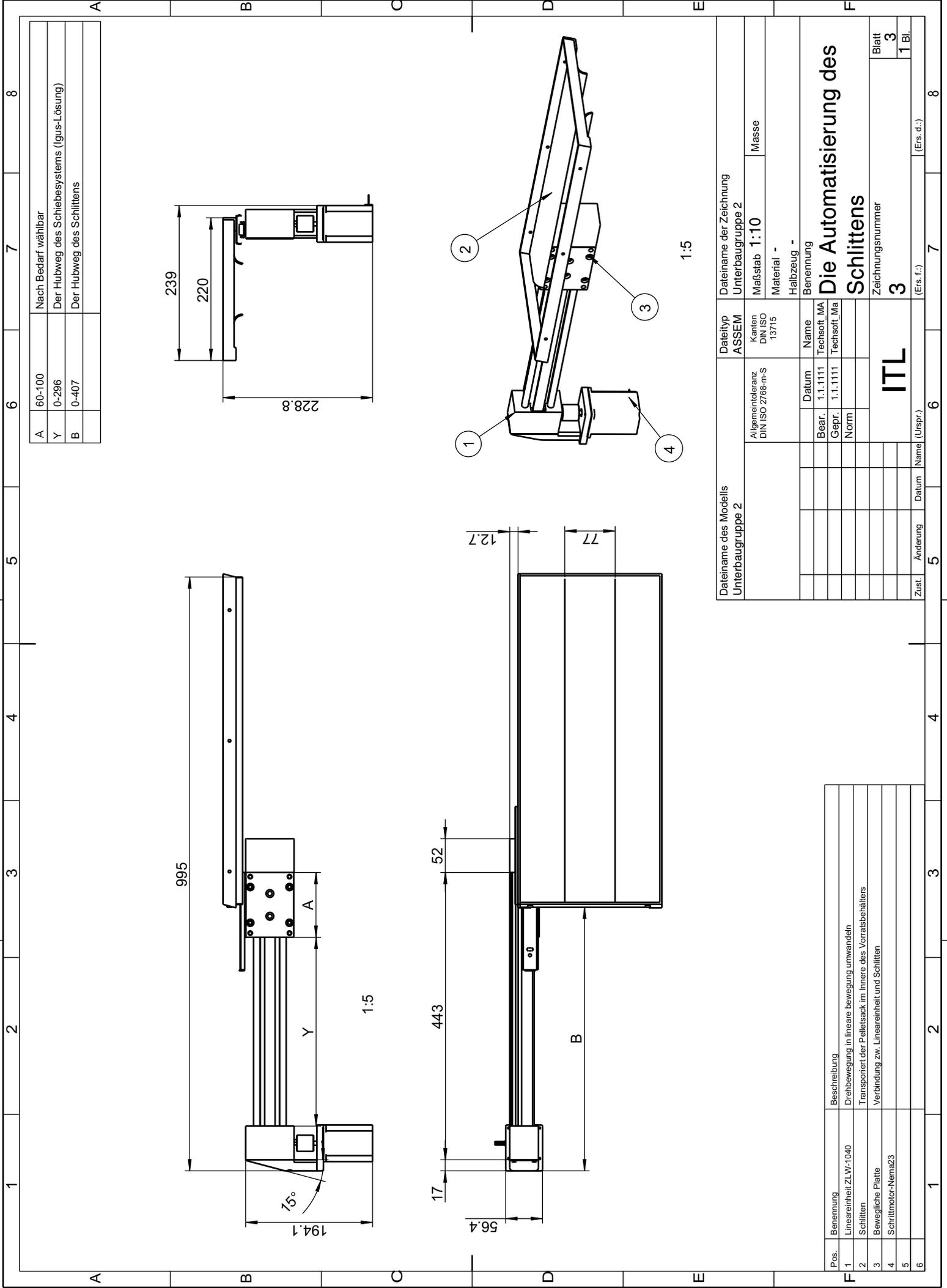


X	0-296	Der Hubweg des Schneidsystems
Y	0-296	Der Hubweg des Schiebeselements (igus-Lösung)
Z	0-940	Der Hubweg der Teleskopschienen
W	0-327	Der Hubweg des Deckels

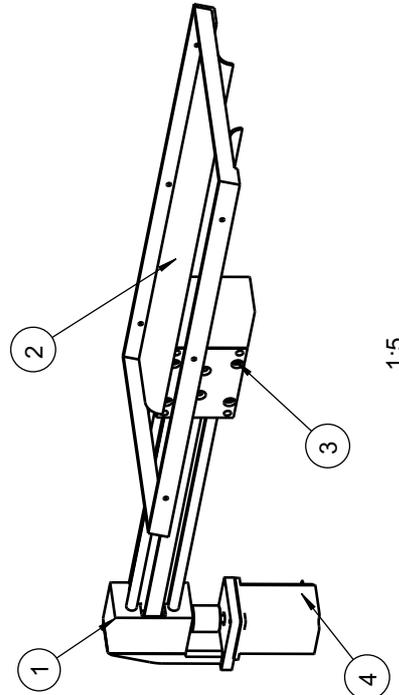
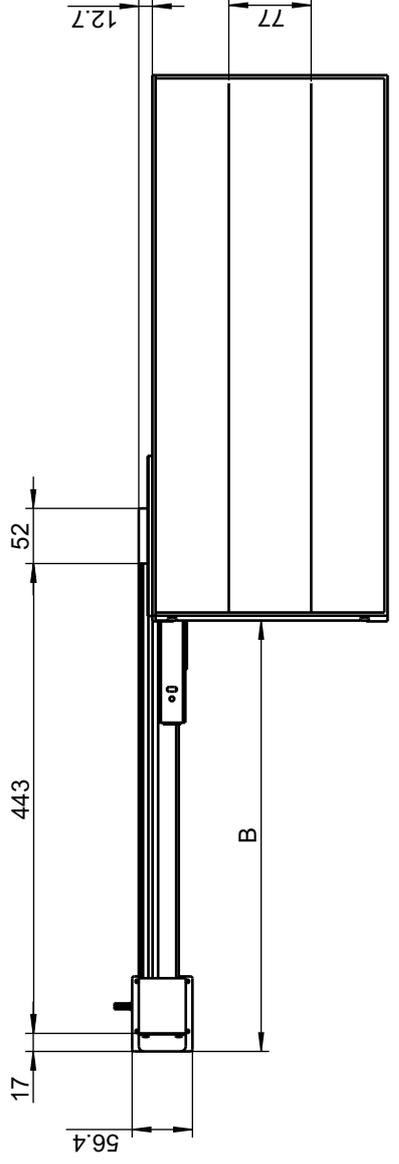
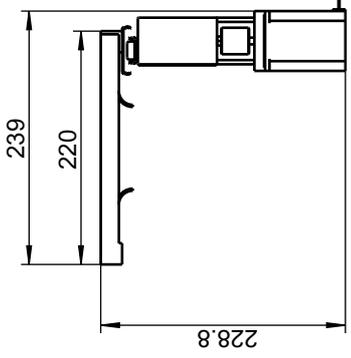
Pos.	Benennung	Beschreibung
1	Servo-Drive BLUM	Der Deckel wird nach oben/unten bewegt.
2	Deckel	Schützt von Staubverteilung
3	Schneidsystem	Übt einen Schnitt über die gesamte Länge des Sackes aus.
4	Schiebesystem	Der Schlitzen wird automatisiert
5	Schlitzen	Transporter der Pelletsack im Innere des Vorratsbehälters
6	Teleskopschiene	Stabilisierung des Schlitzens und ein leichter und ruhiger Lauf

Dateiname des Modells		Dateiname der Zeichnung	
Gesamtbaugruppe		Gesamtbaugruppe	
Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-m-S		Kanten DIN ISO 13715	Maßstab 13:100
		Datum	Material -
		Bear.	Halbzeug -
		Gepr.	Benennung
		Norm	
		<b>Gesamtbaugruppe</b>	
		Zeichnungsnummer	
		1	
		Blatt	
		1	
		1 Bl.	
		(Ers. f.)	
		(Ers. d.)	



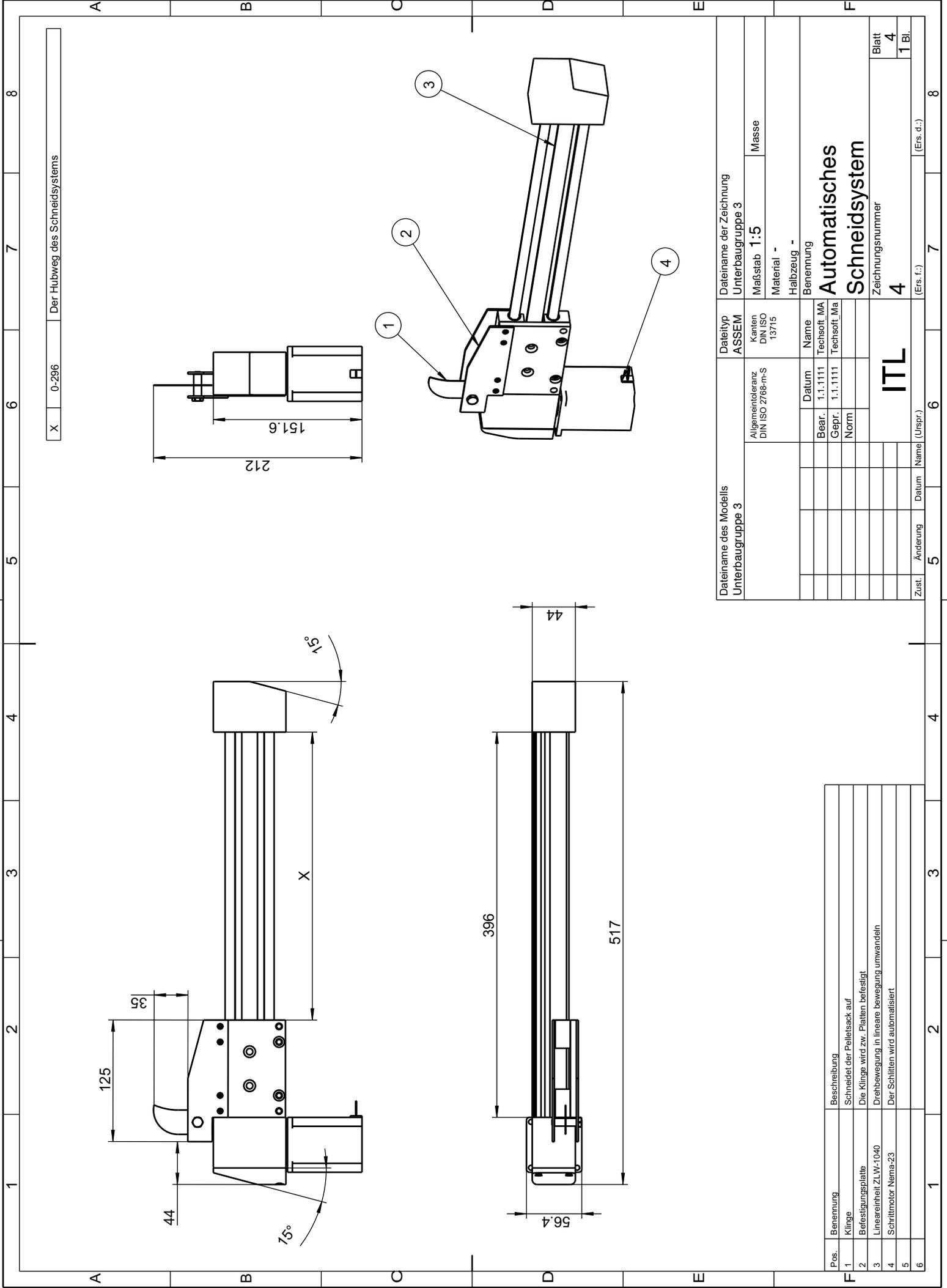


A	60-100	Nach Bedarf wählbar
Y	0-296	Der Hubweg des Schiebesystems (I Gus-Lösung)
B	0-407	Der Hubweg des Schlittens



Dateiname des Modells Unterbaugruppe 2		Dateityp ASSEM	Dateiname der Zeichnung Unterbaugruppe 2	
Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-m-S		Kanten DIN ISO 13715	Maßstab 1:10	Masse
Datum		Name	Material Halbzeug -	
Bear.	1.1.1111	Techsoft	Benennung	
Gepr.	1.1.1111	Techsoft	Die Automatisierung des Schlittens	
Norm			Zeichnungsnummer	
Zust.		Änderung		Blatt 3
Datum		Name (Urspr.)		1 Bl.
5		6		(Ers. d.):
1		2		7
3		4		8

Pos.	Benennung	Beschreibung
1	Lineareinheit ZLW-1040	Drehbewegung in lineare bewegung umwandeln
2	Schlitten	Transportier der Palletsack im Innere des Vorratsbehälters
3	Bewegliche Platte	Verbindung zw. Lineareinheit und Schlitten
4	Schrittmotor-Nema23	
5		
6		



X 0-296 Der Hubweg des Schneidsystems

Dateiname des Modells Unterbaugruppe 3		Dateityp ASSEM	Dateiname der Zeichnung Unterbaugruppe 3	
Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-m-S		Kanten DIN ISO 13715	Maßstab 1:5	Masse
Datum		Name	Material -	
Bear.	1.1.1111	Techsoft	Halbzeug -	
Gepr.	1.1.1111	Techsoft	Benennung	
Norm			<b>Automatisches Schneidsystem</b>	
Datum		Zeichnungsnummer		
Zust.		4		
Änderung		ITL		
Name (Urspr.)		(Ers. f.)		
Name		(Ers. d.)		

Pos.	Benennung	Beschreibung
1	Klinge	Schneidet der Pelletsack auf
2	Befestigungsplatte	Die Klinge wird zw. Platten befestigt
3	Lineareinheit ZLW-1040	Drehbewegung in lineare bewegung umwandeln
4	Schrittmotor Nema-23	Der Schlitten wird automatisiert
5		
6		