

# **Bachelorarbeit**

Thorben Meyer

Konstruktion einer Matrizen-Innenabstützung für  
eine vorhandene Flachmatrizenpresse

**Thorben Meyer**  
**Konstruktion einer Matrizen-Innenabstützung für eine  
vorhandene Flachmatrizenpresse**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

Im Studiengang Maschinenbau/Entwicklung und Konstruktion  
am Department Maschinenbau und Produktion  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

in Zusammenarbeit mit:

Amandus Kahl GmbH & Co. KG  
Technisches Büro – Konstruktion  
Dieselstraße 5-9  
21465 Reinbek

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Hilmar Hoder  
Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Claus Heesch

Abgabedatum: 12.09.2013

**Thorben Meyer, 1987807**

## **Thema der Bachelorarbeit**

Konstruktion einer Matrizen-Innenabstützung für eine vorhandene Flachmatrizenpresse

## **Stichworte**

Hohe Belastung, Durchbiegung, methodisches Konstruieren, FEM, Pellets, Holz

## **Kurzzusammenfassung**

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Konstruktion einer Innenabstützung für eine sich bereits im Einsatz befindende Flachmatrizenpresse. Sie kommt damit der Forderung nach, eine Lösung zu finden, die für die mit der Durchbiegung der Matrize in Verbindung stehenden Probleme beseitigt. Hier stehen erhöhter Verschleiß und ein geringerer Durchsatz im Vordergrund. Unter Einsatz verschiedener Werkzeuge des methodischen Konstruierens wird die Konzeptentwicklung durchgeführt. Auf Basis einer in der Abteilung erarbeiteten Anforderungsliste wird die Gesamtfunktion auf einzelne Teilfunktionen herunter gebrochen um sämtlich erdenkliche Lösungsvarianten in einem morphologischen Kasten gegenüber zu stellen. Die daraus resultierenden Ergebnisse werden hinsichtlich verschiedener Kriterien beurteilt. Auf die am besten abschneidende Lösung wird detaillierter eingegangen. Anhand von Berechnungen werden Ergebnisse der Bewertung gestützt.

## **Bachelor Thesis title**

Construction of a inside stabilizer for a flat-die-pelleting-press

## **Keywords**

High strain, bending, methodological tools, finite elements, pellets, wood

## **Abstract**

The present work deals with the design of an inside-stabilizer for a flat-die-pelleting-press. It so meets the demands of finding a solution for problems of the bending of the die. Regarding the bending, raised abrasion and lower flow-rate come to the fore.

By using a variety of methodological tools, the conceptual design is carried out. The concept is based on the list of requirements, which is based on the conditions in the pelleting-area and developed in a small group of engineers. In the morphological box every single sub-function is registered. Up to five partial solutions, which discharge those sub-functions, are registered, too.

The resulting solutions are evaluated relating different criterions. The performing solution is described in detail. On the basis of finite element calculations the evaluations are supported.

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	IV
Formelzeichen .....	VI
Abkürzungsverzeichnis .....	VII
Abbildungsverzeichnis .....	VIII
Tabellenverzeichnis .....	X
1 Einleitung .....	1
1.1 Aufgabenstellung .....	2
2 Auftraggeber .....	4
2.1 Funktionsweise einer Presse .....	5
2.1.1 Entstehung des Pellets .....	6
2.2 Pelletierung von Holz .....	8
2.3 Auftretende Durchbiegung .....	9
2.4 Stand der Technik .....	11
3 Entwickeln von Lösungskonzepten .....	13
2.2 Theoretische Grundlagen .....	13
2.2.1 Anforderungsliste .....	15
2.2.2 Abstrahieren .....	17
2.2.3 Funktionsanalyse .....	17
2.2.4 Morphologischer Kasten .....	20
2.2.5 Bewertung von Lösungsvarianten .....	21
2.2.5.1 Nutzwertanalyse .....	22
2.2.5.2 VDI-Richtlinie 2225 – Teil 3 .....	24
3 Anwendung .....	26

3.1	Anforderungsliste .....	26
3.2	Funktionsstruktur .....	29
3.3	Morphologischer Kasten .....	35
3.4	Bewertung der Lösungsvarianten .....	38
4	Erarbeitung der Lösungsvarianten .....	40
4.1	Lösungsvariante 1 .....	41
4.2	Lösungsvariante 2 .....	43
4.3	Lösungsvariante 3 .....	45
4.4	Lösungsvariante 4 .....	47
4.5	Bewertungskriterien & Gewichtung.....	48
4.6	Nutzwertanalyse .....	50
4.7	Detailliertes Ausführen von Lösungsvariante 3.....	55
5	Zusammenfassung & Ausblick.....	64
6	Literaturverzeichnis .....	66
7	Anhang .....	A
	Morphologischer Kasten (mit Lösungspfaden).....	A
	Übersicht Flachmatrizenpressen .....	C

*Formelzeichen*

$F_R$	[N]	Reibkraft
$F_D$	[N]	Druck-/Presskraft
$G_i$	[-]	Gewichtungsfaktor
$GW$	[-]	Gewichteter Gesamtwert
$W_i$	[-]	vergebener Punktwert
$WG$	[-]	Gewichtete Wertigkeit
$W_{max}$	[-]	maximal zu vergebener Punktwert
$n$	[-]	Anzahl der Kriterien
$M$	[Nm]	Moment
$F$	[N]	Kraft
$a_{min}$	[mm]	Min. Höhe des einbeschriebenen Dreiecks einer Kehlnaht
$a_{max}$	[mm]	Max. Höhe des einbeschriebenen Dreiecks einer Kehlnaht
$t_{min}$	[mm]	Stärke des Dünneren der beiden zu verschweißenden Werkstücke
$t_{max}$	[mm]	Stärke des Dickeren der beiden zu verschweißenden Werkstücke

*Abkürzungsverzeichnis*

NWA	Nutzwertanalyse
LV	Lösungsvariante
FEM	Finite Elemente Methode
CAD	Computer Aided Design
HM	Hydraulikmutter
HP	Horse Power

## *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1: Funktionsweise einer Pelletpresse.....	5
Abbildung 2: Qualitativer Verlauf der Presskraft.....	6
Abbildung 3: Kräfte bei der Entstehung eines Pellets .....	7
Abbildung 4: Versuchsaufbau ohne Verstärkungsring.....	9
Abbildung 5: Versuchsaufbau mit Matrizen-Verstärkungsring.....	10
Abbildung 6: Presse 60-1250 im Schnitt.....	11
Abbildung 7: Presseninnenraum .....	12
Abbildung 8: Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren nach VDI 2222 [5].....	13
Abbildung 9: Stufen des methodischen Konstruierens im Überblick (eigene Darstellung) .....	14
Abbildung 10: Quellen für Anforderungen [6] .....	15
Abbildung 11: Funktionspyramide [7, Seite 5-7].....	17
Abbildung 12: Funktionsstruktur [8, eigene Darstellung in Anlehnung an Seite 41].....	18
Abbildung 13: Elementarfunktionen nach Koller .....	19
Abbildung 14: Beispielhafte Darstellung eines morphologischen Kastens [8, Seite 127].....	20
Abbildung 15: Schematische Darstellung der Nutzwertanalyse in Anlehnung an Pahl/Beitz [8, Seite 136].....	22
Abbildung 16: Black Box.....	29
Abbildung 17: LV IV Kniehebel .....	39
Abbildung 18: Lösungsvariante V.....	39
Abbildung 19: Lösungsvariante 1.....	41
Abbildung 20: LV 1 im Schnitt.....	41
Abbildung 21: Antrieb Abbrechvorrichtung.....	42
Abbildung 22: Lösungsvariante 2.....	43

Abbildung 23: Alternative LV 2 .....	43
Abbildung 24: Höhenverstellung LV 2 (im Schnitt).....	44
Abbildung 25: Lösungsvariante 3.....	45
Abbildung 26: Schnitt LV 3 - Höhenverstellung.....	45
Abbildung 27: Antrieb Abbrechvorrichtung.....	46
Abbildung 28: Lösungsvariante 4.....	47
Abbildung 29: LV 4, Höhenverstellung "Rampe" .....	47
Abbildung 30: Sicherung gegen Verdrehen .....	55
Abbildung 31: Sicherung gegen Höhenverstellung.....	56
Abbildung 32: Trägerrippe, geschweißt .....	56
Abbildung 33: Bohrbild Matrize.....	58
Abbildung 34: Matrize im Schnitt .....	60
Abbildung 35: Balkentheorie .....	60
Abbildung 36: Darstellung der berechneten Spannungen .....	61
Abbildung 37: Darstellung der berechneten Verschiebungen .....	62
Abbildung 38: Seitenansicht; erhöhte Werte .....	63
Abbildung 39: Seitenansicht tatsächliche Durchbiegung .....	63

*Tabellenverzeichnis*

Tabelle 1: Ergebnisse Versuch "Durchbiegung" .....	10
Tabelle 2: Bewertungsskala [7] .....	16
Tabelle 3: Beispiel für eine Anforderungsliste.....	16
Tabelle 4: Vergleich der Bewertungsskalen.....	21
Tabelle 5: Tabellarische Form der Nutzwertanalyse .....	23
Tabelle 6: Anforderungsliste (Fortsetzung auf folgender Seite) .....	26
Tabelle 7: Morphologischer Kasten (Fortsetzung auf folgender Seite).....	36
Tabelle 8: Erfüllung der Forderungen.....	38
Tabelle 9: Bewertungskriterien & Gewichtung .....	48
Tabelle 10: Bewertungsskala.....	50
Tabelle 11: Nutzwertanalyse .....	51
Tabelle 12: Übersicht der Bewertung .....	54
Tabelle 13: Berechnete minimale und maximale Werte für Spannung und Verschiebung .....	62

# 1 Einleitung

Die Firma Amandus Kahl GmbH & Co. KG stellt Pressen verschiedener Größen für Kunden aus den unterschiedlichsten Bereichen her.

Die kleinste Presse, die 14-175<sup>1</sup>, wird für die Produktion kleiner Mengen Pellets gefertigt und vertrieben. Des Weiteren umfasst das Pressensortiment Pressen für die Produktion mittlerer bis großer Mengen. Mit steigendem Matrizendurchmesser steigt auch der zu erzielende Durchsatz.

Einen Einfluss auf die aufzubringende Presskraft hat das Material. Während bei gleichem Pellet- und Matrizendurchmesser ein Kautschukprodukt vergleichsweise geringe Belastung verursacht, sind diese bei dem Produkt Holz sehr hoch. Der Einsatz einer Presse steht weiterhin in Abhängigkeit zur Konsistenz des Produktes. Pastöse Materialien etwa werden in eigens dafür entwickelten Pressen verarbeitet.

Ab einem Matrizendurchmesser von 600mm wird der antreibende Motor nicht mehr mit der Presse zusammen verbaut, sondern als Zustellmotor ausgeführt. Bei der derzeit größten Presse, der 60-1500, stehen zwei Motoren á 250kW zur Verfügung.

Bei dem im Rahmen des Projektes „Enviva Ahoskie“ eingesetzten, holzverarbeitenden Pressentyp 60-1250, werden über zwei Motoren insgesamt 450kW (600 HP) an Energie eingespeist. Mit Hilfe dieses Energieeintrags wird die Königswelle in Rotation versetzt. Am oberen Ende der Königswelle sitzt aufgeschraubt die Hydraulikmutter<sup>2</sup>, welche durch Erzeugung hydraulischen Drucks den Kollerkopf samt darin eingepressten Kollerachsen mit Kollerrollen auf den Produktteppich bzw. die Matrize drückt. Der formschlüssig auf der Königswelle sitzende Kollerkopf wird durch die in Rotation versetzte Königswelle zum Drehen gebracht, wodurch sich die Kollerrollen auf dem Produktteppich abwälzen, diesen vorverdichten um ihn anschließend in die Bohrungen der Matrize zu pressen. Der Produktteppich entsteht durch kontinuierlich zugeführtes Material, welches in vorzerkleinerter Form durch die obere Pressenöffnung hereinrieselt und sich auf der Matrize niederlegt.

Der durch den Materialteppich auf die Matrize übertragene Kraftfluss führt im Betrieb dazu, dass sich die Matrize zur Mitte hin durchbiegt, wodurch es zum Bruch der Matrize kommen kann. Es gilt eine konstruktive Maßnahme zu ergreifen, die den auftretenden Problemen entgegenwirkt und dabei alle Funktionen wie das Abschneiden oder Ausräumen der Pellets aufrechterhält.

---

<sup>1</sup> Pressenbezeichnung nach Kahl-Richtlinie. Die ersten zwei Ziffern beschreiben die Form des Pressenunterteils, die letzten Ziffern geben in Millimetern den Matrizendurchmesser an.

<sup>2</sup> Hydraulisch betätigte Einheit, die mit einem Gewinde ausgestattet ist, und auf die Königswelle geschraubt wird.

## 1.1 Aufgabenstellung

Aufgrund der hohen auftretenden Belastungen im Betrieb kommt es in einigen Fällen zum Bruch der Matrize. Durch die teils schwellend auftretende Belastung biegt die Matrize zunächst zur Mitte hin durch, was eine konstante Höhe des Materialteppichs über die Kollerbahnbreite<sup>3</sup> unmöglich werden lässt.

Als Resultat der Durchbiegung stehen neben dem Bruch somit auch unstetige Prozessparameter, welche dazu führen, dass der Durchsatz sinkt und Pellets mit schlechterer Qualität die Presse verlassen. Mit dem Verhindern der Durchbiegung wird sich erhofft, diesen Problemen entgegenzuwirken. Konstruktiv kann die Matrize nur über die untere Innenseite abgestützt werden, was ihr den Namen „Innenabstützung“ gibt.

Diese Innenabstützung soll im Rahmen der Bachelorthesis entwickelt und modelliert werden. Dabei stehen die Verhinderung der Durchbiegung sowie das Aufrechterhalten von peripheren Teilfunktionen im Vordergrund.

Es werden zunächst die Presse und die auftretenden Probleme anhand von Messwerten beschrieben. Die erstellte Anforderungsliste bildet die Grundlage der folgenden methodischen Arbeit.

Nach den Richtlinien des methodischen Konstruierens werden Lösungen erarbeitet, bewertet und auf eine auszuwählende Lösungsvariante beschränkt. Dabei werden die Lösungen auf das zentrale Kriterium, die Durchbiegung, mittels FEM-Berechnungen geprüft. Die nach der Bewertung am besten abschneidende Variante wird detailliert ausgeführt.

Abschließend werden Umsetzungsvorschläge aufgezeigt, die mögliche Schritte zum Erreichen des Ergebnisses beschreiben.

---

<sup>3</sup> Die Ringfläche der Matrize, welche von den Kollerrollen überrollt wird und mit Bohrungen, den Presskanälen, versehen ist.



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Hamburg University of Applied Sciences  
*Department Maschinenbau und Produktion*

## **A u f g a b e n s t e l l u n g**

**für die Bachelorthesis**

**von Herrn/Frau**                      **Thorben Meyer**

Matrikel-Nummer:                      198 78 07

**Thema:**                                      **Konstruktion einer Matrizen-Innenabstützung für eine vorhandene Flachmatrizenpresse**

**Schwerpunkte:**                              **Für den sich bereits im Einsatz befindenden Pressentyp 60-1250 ist eine Abstützung der Matrize im inneren Bereich erforderlich, um eine Durchbiegung zu verhindern und einen eventuell auftretenden Bruch entgegenzuwirken.**

**Im Rahmen der Bearbeitung muss ebenfalls eine Lösung für die bisher unterhalb der Matrize rotierende Abbrechvorrichtung der Pellets gefunden werden, um die Funktionalität der Presse weiterhin aufrecht zu erhalten.**

**Folgende Aufgaben sind im Einzelnen zu lösen:**

- **Darstellung des Ist-Zustands**
- **Ermittlung von Lösungsalternativen**
- **Berechnung & Darstellung / Beschreibung der ausgewählten Lösungsvariante**
- **Umsetzung der Lösungsvariante in konstruktiver Hinsicht**

\_\_\_\_\_ Datum

\_\_\_\_\_ Erstprüfer/in

## 2 Auftraggeber

Das 1876 gegründete Unternehmen Amandus Kahl GmbH & Co. KG hat seinen Hauptsitz in Reinbek, einem Vorort von Hamburg. 115 Jahre nach der Gründung kam es zur Bildung der Kahl Gruppe, welche heute neben Amandus Kahl als größtes Unternehmen noch drei weitere Mitglieder umfasst. So sind mit den Firmen F.H. Schule Mühlenbau GmbH, Neuhaus Neotec GmbH und Heinen Freezing GmbH & Co. KG weitere Kompetenzen im verfahrenstechnischen Anlagen- und Maschinebau vertreten.

Amandus Kahl vertreibt am Standort Reinbek geplante, entwickelte und gefertigte Anlagen und Maschinen in die ganze Welt.

Mit einer Reihe von Erfindungen und Patenten zeigt Kahl, wie wichtig technischer Fortschritt ist, um maximale Kundenzufriedenheit zu garantieren. Auch aus diesem Grund darf sich das Hauptwerk in Reinbek DIN EN ISO-zertifiziert nennen.

Die Märkte liegen vor allem in der Nahrungsmittelindustrie, der Grundnahrungs- und Futtermittelindustrie, im Recyclingbereich sowie in der chemischen Industrie.

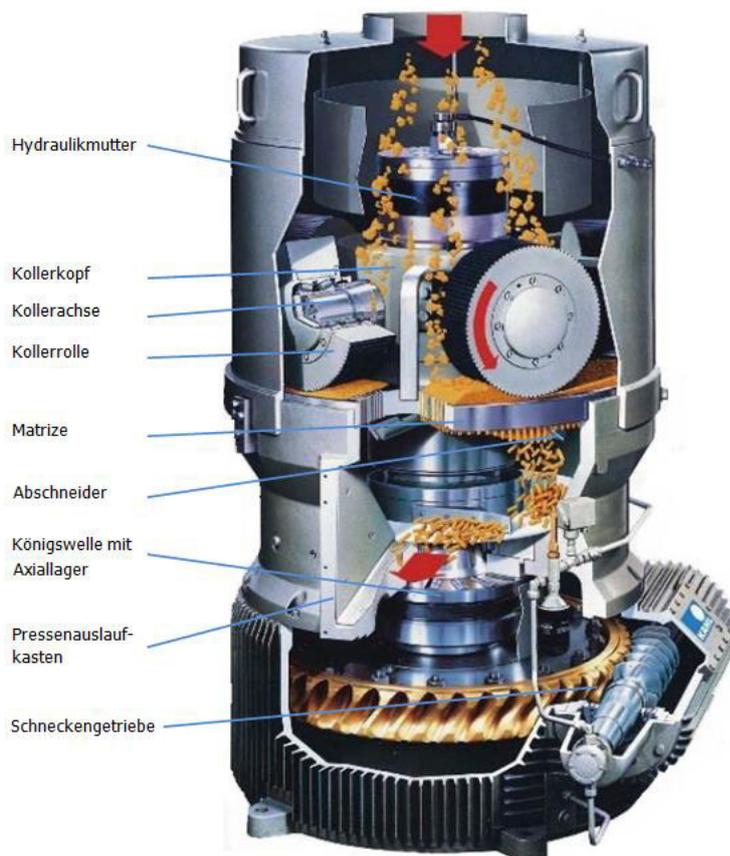
Als erfolgreichste Produkte zeichnen sich die Flachmatrizenpresse und der Ringspalt-Expander aus [1]. Somit zählen Firmen aus dem Altreifenrecycling, der Holzpelletierung und der Biomasseverarbeitung zum Kundenkreis. Dank der äußerst robusten Bauweise der Kahl-Flachmatrizenpresse lässt sich eine Vielzahl an unterschiedlichsten Produkten verarbeiten.

Die Entwicklung der Müllbearbeitungsanlagen und speziell des Altreifenrecyclings lässt einen stetigen Anstieg erkennen [2]. Durch erhöhtes Aufkommen an Altreifen in Deutschland als führender Altreifenverwerter in Europa [3], aber auch in anderen Ländern, rücken Verwerterfirmen in den Markt, deren Nachfrage Kahl durch Granulier- und Trennverfahren gerecht werden kann. Aus diesen Gebieten ergeben sich innovative Anwendungen wie beispielsweise Spiel- und Sportplätze sowie Flüsterasphalt im Autobahnbau.

Auch die Produktion von Holzpellets verzeichnet einen positiven Trend. Deutschland als drittgrößter Pelletproduzent hinter den USA und Kanada hat im Jahr 2012 erstmals die Marke von 2 Millionen Tonnen durchbrochen [4], ein weiterer Anstieg wird prognostiziert. Dabei werden die in Deutschland produzierten Pellets nur zu rund 20 Prozent exportiert, ganze 80 Prozent verbleiben somit im Inland. Diese Entwicklung verdeutlicht, welchen Stellenwert der Markt Biomasseverarbeitung für Amandus Kahl einnimmt.

## 2.1 Funktionsweise einer Presse

Bei dem Verfahren, welchem man sich beim Pelletieren in der Firma Amandus Kahl bedient, handelt es sich um das Strangpressen. Die Flachmatrizenpresse wird durch Elektromotoren angetrieben, die ihr Moment über einen Keilriementrieb auf das Schneckengetriebe (s. Abbildung 1) übertragen. So wird aus einer Rotation um eine horizontale Achse eine Bewegung um eine vertikale Rotationsachse. Die nun angetriebene Königswelle leitet die Kraft bis zum oberen Ende der Welle, über das eine formschlüssige Passfederverbindung den Kollerkopf antreibt.



**Abbildung 1: Funktionsweise einer Pelletpresse**

Kollerrollen nach unten, auf die Matrize bzw. auf den Produktteppich presst. Dieser Druck, abhängig von der Größe der Presse, variiert im Allgemeinen zwischen 160 bar und 200 bar, was einer Presskraft von bis zu 1800kN entspricht. Ist die Hydraulikmutter nicht ausgefahren, sondern entlastet, wird auch auf den Kollerkopf keine Belastung ausgeübt. Damit der Abstand zwischen Matrize und Kollerkopf gleich bleibt, ist unter der Matrize der sogenannte Kollerkopf-Anschlag platziert. Hiermit kann die Höhe des Spaltes zwischen Matrize und Kollerrolle angepasst werden. Wird nun Druck ausgeübt, haben die Kollerrollen wieder Kontakt zum Produkt auf der Matrize.

Das grob vorzerkleinerte Produkt gelangt durch die obere Öffnung der Staubhaube in den Pressenraum [11]. Dort fällt es bis auf die Matrize. Es kommt zur Ausbildung eines Produktteppichs auf der Matrize, der durch die in der Anzahl variablen Kollerrollen überrollt und verdichtet wird. Je nach Größe der Presse werden bis zu fünf Kollerrollen eingesetzt. Die Kollerrollen sind Teil des Kollerkopfes. In diesen werden die sogenannten Kollerachsen eingepasst, die dann die Kollerrollen führen.

Durch die auf dem oberen Ende der Königswelle aufgeschraubte Hydraulikmutter wird ein Druck erzeugt, der den Kollerkopf samt

Der Antrieb der Kollerrollen erfolgt durch Reibung zwischen Matrize bzw. Produktteppich und Kollerrolle.

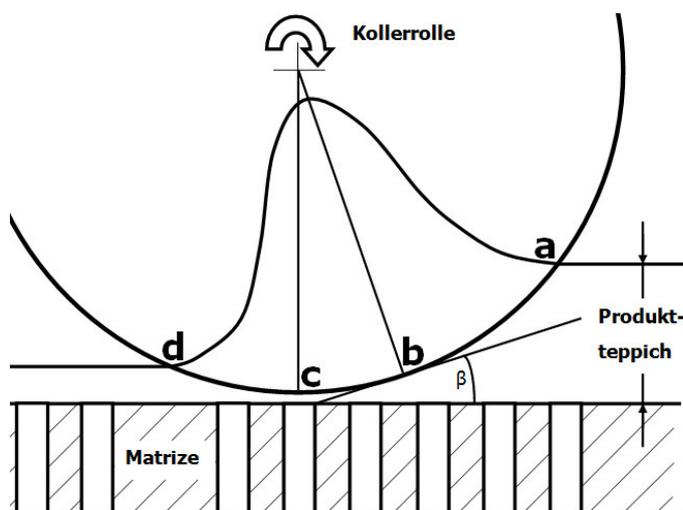
Der Druck der Kollerrollen erzeugt einen verdichteten Produktteppich, der in Bohrungen der Matrize gedrückt wird und aus dem beim Passieren des Bohrungskanals dann die Pellets geformt werden.

Damit die so entstehenden Endlosstränge nicht erst durch ihr Eigengewicht abbrechen, werden in der Presse sogenannte Abschneider eingesetzt. Im Presskanal der Matrize, der sich bis zu 100 mm erstrecken kann, herrschen sehr hohe Temperaturen. Dieser Einfluss führt dazu, dass die Pellets eine weiche Struktur aufweisen, abgebrochen und nicht abgeschnitten werden. Aus diesem Grund ist die Bezeichnung „Abschneider“ leicht irreführend. Er dient aber dennoch dazu, die Pellets auf die richtige Länge zu bringen. Angetrieben werden die Abschneider über eine formschlüssige Verbindung von der Königswelle. Über den Umfang sind dann meist vier Abschneider verteilt, die in der Höhe verstellbar sind.

Auch der Durchmesser der Bohrungen der Matrize, welcher dem Pelletdurchmesser entspricht, variiert. Je nach Anwendung liegen diese zwischen 3 mm und 20 mm. Die nach dem Abbrechen zu Boden fallenden Pellets werden von der Austrageeinrichtung, einer mehrarmigen Schleudereinrichtung, ebenfalls durch die Königswelle angetrieben, durch den Pressenauslaufkasten nach außen befördert.

### 2.1.1 Entstehung des Pellets

Die tatsächliche Entstehung der Pellets steht in unmittelbarem Zusammenhang zwischen den



Bauteilen Matrize und Kollerrolle. Der in Abbildung 2 dargestellte qualitative Verlauf der Presskraft beim Pelletieren mit einer Flachmatrizenpresse teilt sich in vier Schritte auf. Vor der Kollerrolle kommt es zur Ausbildung eines Produktteppichs (a). Das „Einziehen des Produktteppichs“ beschreibt den Vorgang des Überrollens und Verdichtens der sich aufstauenden Schicht des zu pelletierenden Materials. Zwischen den Punkten (b) und (c) ist die Presskraft

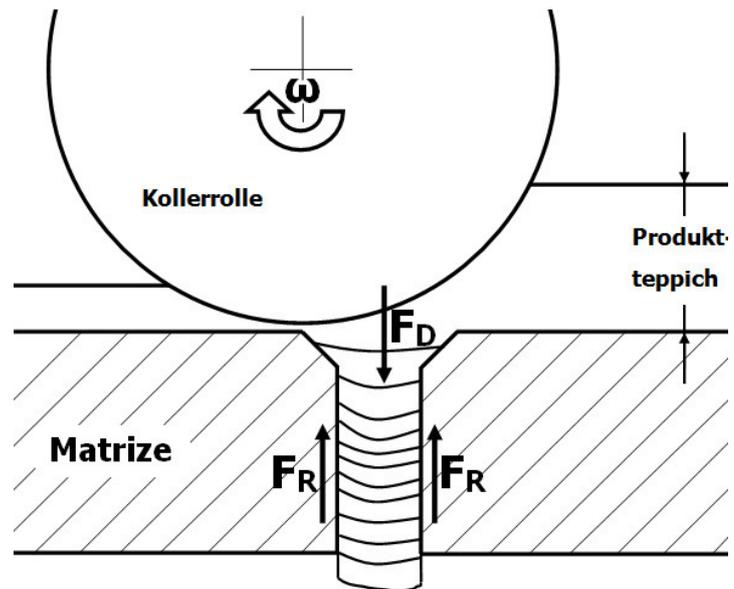
**Abbildung 2: Qualitativer Verlauf der Presskraft**

auf das Material am größten, da dort die Kraft nahezu senkrecht angreifen kann. Zu einem Teil kann das Produkt dem Einzug entweichen, ein großer Teil wird jedoch in die Bohrungen der Matrize gepresst. Das teilweise aus dem Einzug entwichene Produkt bleibt in vorverdichteter Form (d) auf der Matrize liegen, bis es im Anschluss von der folgenden Kollerrolle überrollt wird.

Der in die Bohrung der Matrize gepresste Teil des Materialteppichs bildet nun das Pellet. Um jedoch ein ganzes Pellet entstehen zu lassen bedarf es mehrerer Vorgänge wie dem des eben beschriebenen. Mit jedem „Überrollen“ des Produktteppichs entsteht ein sogenanntes „Plättchen“.

Wie sich ein solches Plättchen in etwa formt ist in Abbildung 3 zu sehen. Mit jeder weiteren Kollerrolle, die nun das Produkt in die Bohrung der Matrize zwingt, entsteht ein weiteres Plättchen. Um einen besseren Blick auf die wirkenden Kräfte zu erlangen, betrachten wir jedoch nur ein einzelnes Plättchen.

Dem Plättchen entgegen wirkt die Reibkraft ( $F_R$ ), die durch den Kontakt von den bisher im Presskanal befindenden Plättchen mit der Bohrungswand entsteht. Die von der Kollerrolle



**Abbildung 3: Kräfte bei der Entstehung eines Pellets**

auf das Produkt ausgeübte Kraft wird als Druckkraft ( $F_D$ ) bezeichnet. Um das Plättchen voranzutreiben muss diese Kraft größer sein als die entgegengerichtete Reibkraft.

Die Bedingung, die erfüllt sein muss, um ein Pellet entstehen zu lassen, lautet also

$$F_D > F_R \quad (1)$$

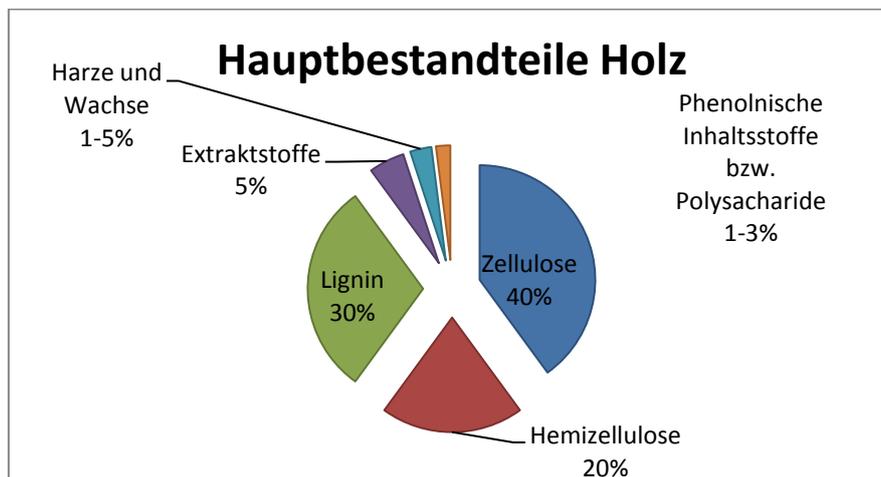
Zusammenfassen lässt sich folgende Erkenntnis. Je länger der Presskanal (also die Dicke der Matrize), desto mehr Plättchen können sich ausbilden und desto größer ist die aufzubringende Energie ( $F_D$ ), die zum Überwinden der Reibkraft nötig ist.

## 2.2 Pelletierung von Holz

Das Pelletieren von Holz nimmt eine Sonderstellung ein. Das Pelletieren des in seiner chemischen Zusammensetzung unterschiedlichen Holzes erfordert zum einen gute, sowie gleichbleibende Produktkonsistenz, zum anderen einen hohen Energieeintrag.

Bereits geringe Abweichungen der Harz- und Wachsanteile haben Einfluss auf die Pelletierung. Das liegt einerseits daran, dass Wachs als Gleitmittel den spezifischen Energieeintrag beeinflusst [18], andererseits daran, dass Harze zur Haftung neigen.

Ohne Zusätze von Bindemitteln, aber unter sehr hohem Druck, werden aus den Holzspänen und -fasern Pellets geformt. Durch Zugabe von Hilfsstoffen (Temperatur, Feuchte, etc.) kann das äußere Erscheinungsbild der späteren Pellets beeinflusst werden. Das kann aus Gründen des Marketings und aus Gründen der späteren Verwendung (Verbrennung, etc.) geschehen.



**Diagramm 1: Hauptbestandteile von Holz**

Da auch die Feuchte des eingehenden Produkts eine wichtige Rolle spielt, ist die Vorkonditionierung des Produkts sorgfältig durchzuführen. Bei zu geringem Wassergehalt weisen die Pellets eine zu geringe Härte auf, bei zu hoher Feuchte ist aufgrund abnehmender Reibung zwischen Holz und Matrize der Energieeintrag zu gering. [19]

Ebenfalls von zentraler Bedeutung für einen stabil laufenden Prozess ist die Spaltbreite zwischen Kollerrolle und Matrize. Hierbei wird ein Spalt von 0,2mm vorgeschrieben, welcher über den Pelletierprozess hinweg konstant gehalten werden muss. Das setzt eine „steife“ Konstruktion der Werkzeuge voraus. Sowohl die Kollerrolle bzw. Kollerachse, als auch die Matrize dürfen sich nicht verformen. Eine Durchbiegung der Matrize würde ebenfalls eine Abweichung des Spalts verursachen und ist daher zu vermeiden.

## 2.3 Auftretende Durchbiegung

Das Problem der Durchbiegung der Matrize ist in der Firma Amandus Kahl bereits seit Längerem bekannt. Durch Versuche wurden Werte für die auftretende Durchbiegung erfasst.

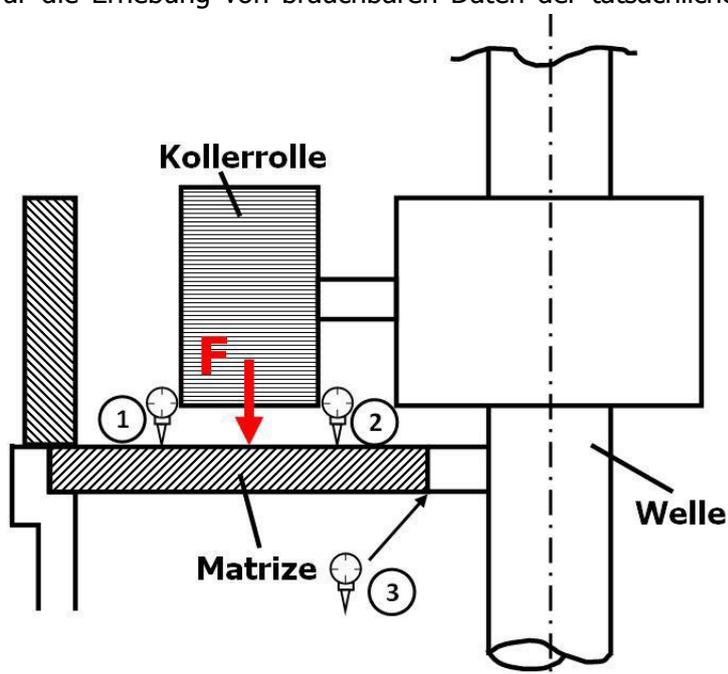
Die Durchbiegung ist rechnerisch schwer zu erfassen. Eine Herangehensweise wäre, die Matrize als Tellerfeder zu betrachten, was allerdings durch die Bohrungen der Matrize erschwert wird. Diese schwächen das Material und somit wäre eine Berechnung zu ungenau.

Die Berechnung mit Hilfe einer FEM-Software ist ein weiterer Ansatz. Zwar ließen sich deutlich genauere Ergebnisse erzielen, dennoch ergeben sich auch hier durch die Inhomogenität der gelochten Matrize zu berücksichtigende, problematische Ergebnisse.

Die Bohrungen machen die Matrize zu einer komplexen Struktur, die sehr aufwändig vernetzt werden muss. Neben der Komplexität dieser Berechnung sind die Randbedingungen nur schwer zu fassen. Die Matrize wird von außen geklemmt, somit wäre eine rein statische Betrachtung nicht korrekt, da sich aufgrund der hohen Belastungen auch der Außenrand verformen würde und sich Randbedingungen ändern würden.

Um Ergebnisse zu überprüfen, reicht diese Variante aber aus.

Für die Erhebung von brauchbaren Daten der tatsächlichen Durchbiegung führt der Weg über einen praktischen Versuch.



einen praktischen Versuch.

Ein solcher Versuch wurde kürzlich im Hause Kahl durchgeführt. Als Rahmenbedingungen wurden eine Matrize und ein Kollerkopf, wie sie bei dem Projekt „Enviva“ im Einsatz sind, gewählt. Der Versuch wurde in zwei Varianten durchgeführt. Zunächst wurde die Matrize alleine belastet, in einem weiteren Versuch kam der bisher aus der Praxis bekannte „Matrizenverstärkungs-ring“ zum Einsatz.

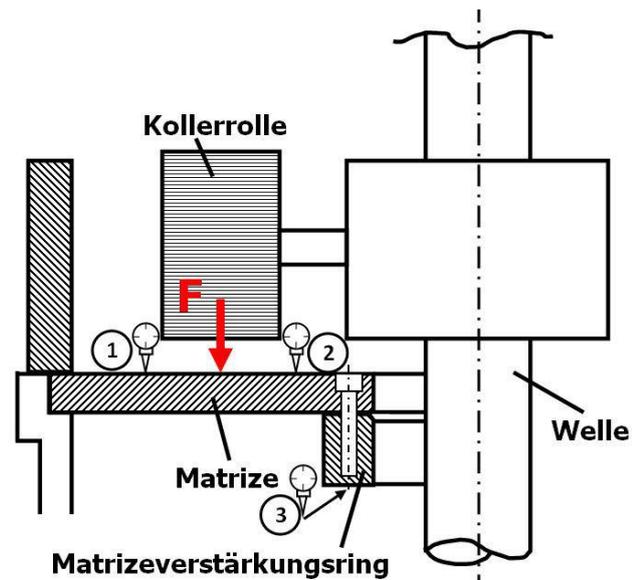
**Abbildung 4: Versuchsaufbau ohne Verstärkungsring**

Abbildung 4 zeigt den Versuchsaufbau ohne angeschraubten Verstärkungsring, Abbildung 5 mit Verstärkungsring.

Die Presskraft wurde rein statisch aufgebracht. In der nebenstehenden Abbildung sind die Messpunkte dokumentiert.

Versuchsreihe 1 beinhaltet die Werte für die Durchbiegung ohne Matrizenverstärkungsring. Versuchsreihe 2 die Werte mit Matrizenverstärkungsring.

Betrachtet wird nur die Durchbiegung bei Aufbringung eines Drucks von 180 bar, was den Betriebsbedingungen für den Anwendungsfall Holz am ehesten entspricht.



**Abbildung 5: Versuchsaufbau mit Matrizen-Verstärkungsring**

Die nachstehende Tabelle 1 vergleicht die Werte für die gemessene Durchbiegung:

**Tabelle 1: Ergebnisse Versuch "Durchbiegung"**

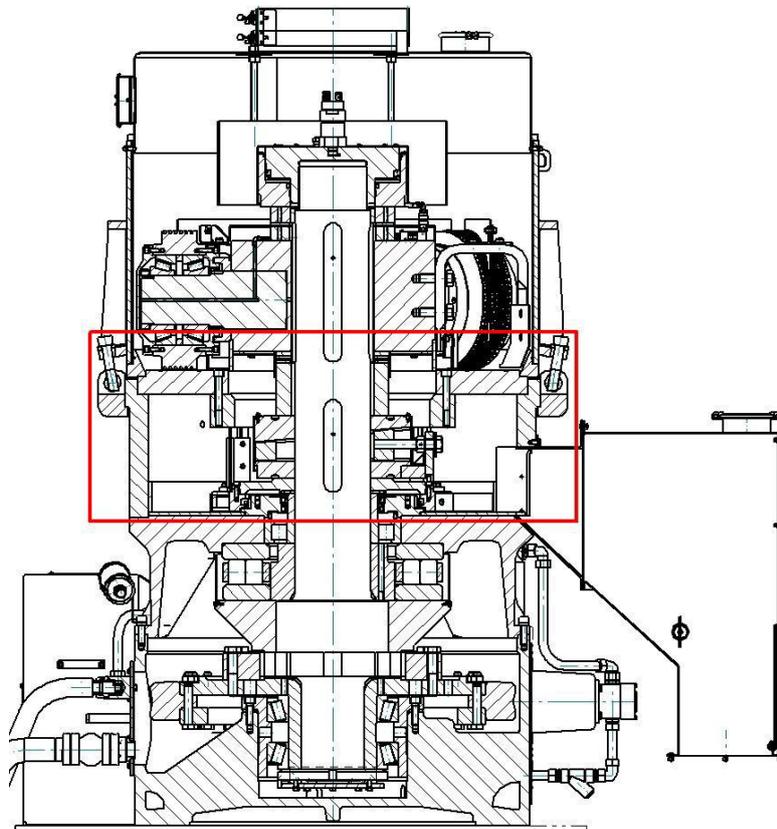
	Belastung: 180 bar	
	Durchbiegung [ $\mu\text{m}$ ]	
	ohne Verstärkungsring	mit Verstärkungsring
Messpunkt 1	105,50	3,33
Messpunkt 2	726,67	444,50
Messpunkt 3	1010,00	608,67

Als relevant für die Innenabstützung gilt Messpunkt 3. 0,6 mm Durchbiegung trotz Einsatz des Verstärkungsring, über 1 mm Durchbiegung ohne Verstärkung.

Da trotz der Reduzierung der Durchbiegung um 40% Probleme beim Pelletierprozess auftreten, wird der Einsatz einer Matrizen-Innenabstützung unabdingbar. Als Forderung wird eine maximale Durchbiegung von 0,3mm in die Anforderungsliste übernommen. Diese Forderung gilt als zentraler Bestandteil der Arbeit.

## 2.4 Stand der Technik

Im Folgenden werden die maschinenbaulichen Randbedingungen, die sich durch die bereits im Einsatz befindende Presse ergeben, erläutert. Die in Abbildung 6 zu sehende Presse wird derzeit

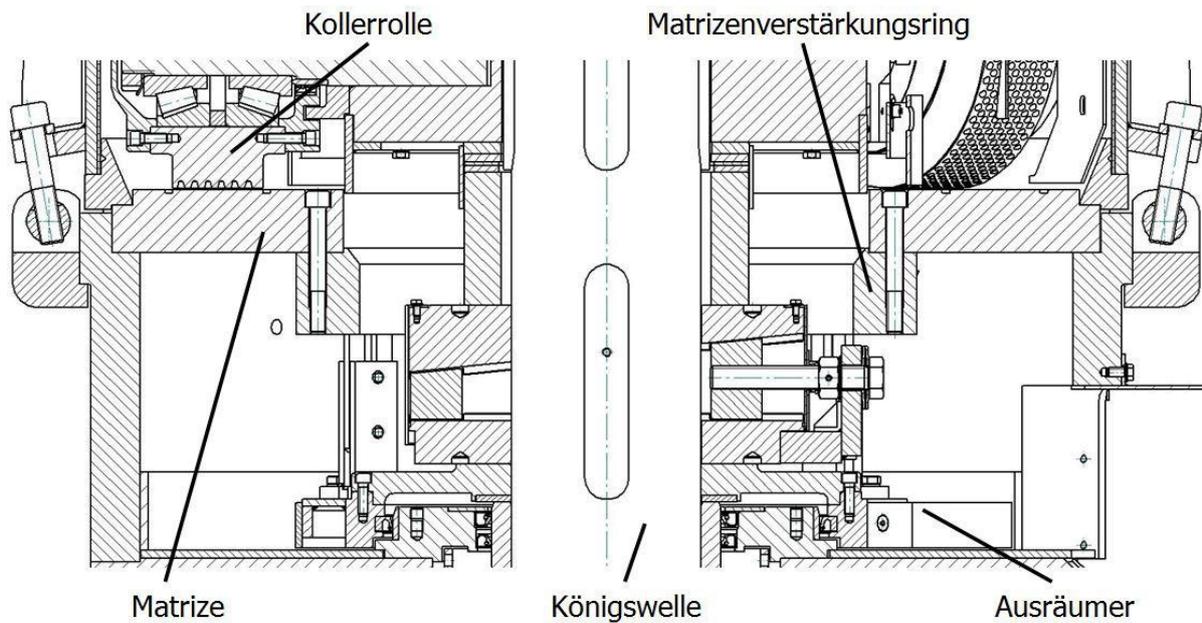


beim Kunden „Enviva“ eingesetzt. Abbildung 7 stellt den rot dargestellten Presseninnenraum detailliert dar. Der in der Abbildung nicht dargestellte Produktteppich bildet sich zwischen Matrize und Kollerrolle aus. Um eine gleichmäßige Pelletqualität über die gesamte Breite der Kollerbahn zu erreichen, muss der Produktteppich eine konstante Höhe aufweisen. Dadurch erfährt er im Idealfall an jeder Stelle den gleichen, von den Kollerrollen ausgeübten Druck. Um dies zu gewährleisten, ist es wichtig, dass sowohl die Kollerachsen, auf denen die Kollerrollen

**Abbildung 6: Presse 60-1250 im Schnitt**

gelagert sind, als auch die Matrize genügend Steifigkeit aufweisen.

Dass die Matrize derzeit zur Mitte hin eine Durchbiegung aufweist, belegen die aufgeführten Messungen. Daraus resultiert ein zur Mitte hin größer werdender Spalt zwischen Matrize und Kollerrolle. Diesem Spalt passt sich der Produktteppich an, wodurch dieser auf den inneren weniger stark verdichtet wird als nach auf den äußeren Teilkreisen der Matrize. Aufgrund dieser Abweichungen vom Soll-Zustand ergeben sich neben Pellets unterschiedlicher Qualität Abnutzungerscheinungen der Werkzeuge Matrize und Kollerrollen, die schneller zu Schäden führen.



**Abbildung 7: Presseninnenraum**

Als erste konstruktive Maßnahme wurde der „Matrizenverstärkungsring“ entwickelt. Dieser versteift die Matrize und verringert die auftretende Durchbiegung. Da dieser den Anforderungen jedoch nicht genügt, muss eine neue Lösung geschaffen werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, eine Lösung zur Vermeidung der Durchbiegung zu schaffen. Gleichzeitig sollten zunächst die Funktionen „Abbrechen der Pellets“ und „Ausräumen der Pellets“ aufrecht erhalten werden. Die gesuchte Lösung soll zwischen Matrize, Gehäuse und rotierenden Teilen wie der Königswelle, den Ausräumern oder den Abbrechern platziert werden.

### 3 Entwickeln von Lösungskonzepten

In diesem Kapitel werden zunächst die theoretischen Grundlagen des methodischen Konstruierens erläutert. Im weiteren Verlauf wird dann mit der beschriebenen Methodik gearbeitet und diese auf die Aufgabenstellung angewendet.

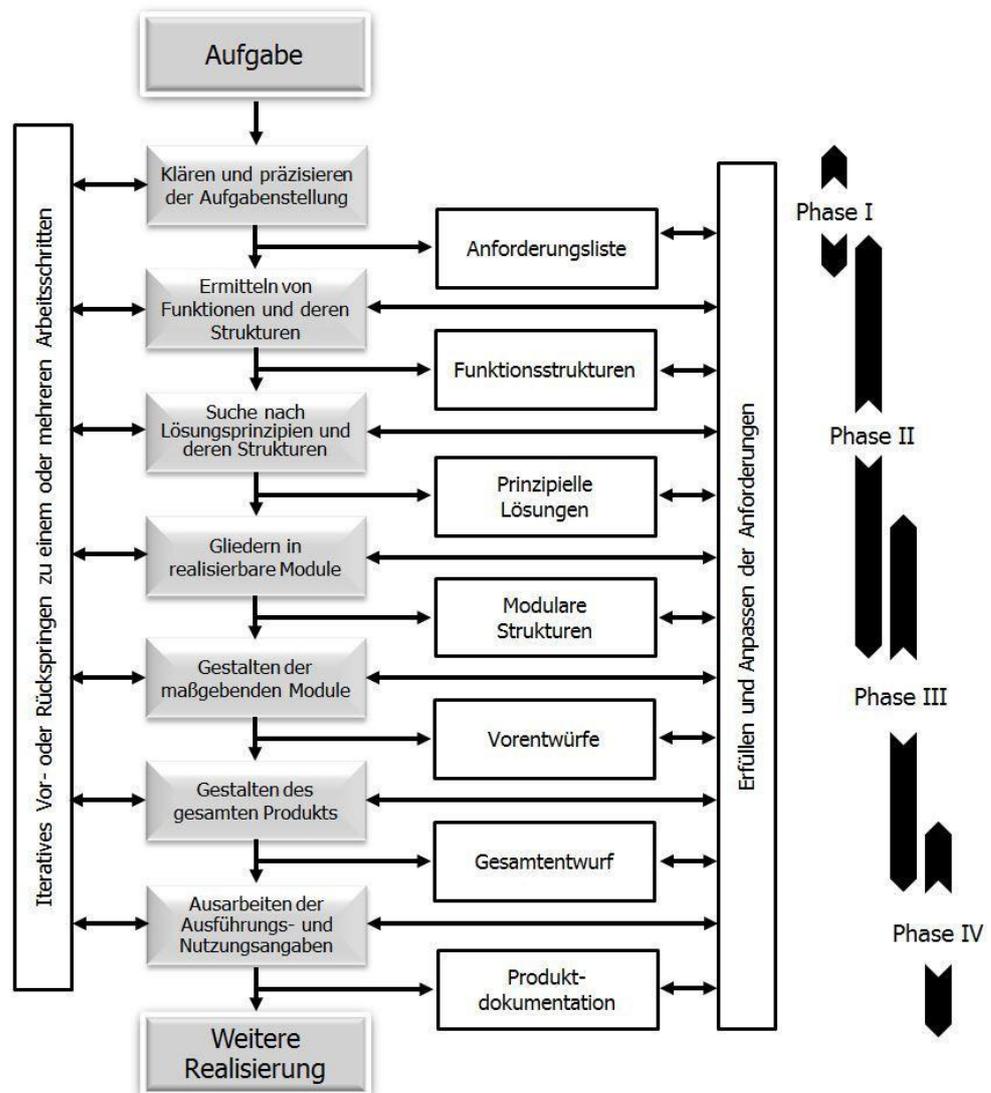
#### 2.2 Theoretische Grundlagen

Das Ziel des Konstruierens mit Hilfsmitteln wie der VDI 2222 ist es, strukturiert an die Bearbeitung einer Aufgabe heranzugehen. Dabei kommt es, unabhängig von der Aufgabe selbst, zur Verwendung des immer gleichen Musters.

Für das Bearbeiten einer Aufgabe, für die es bereits eine oder mehrere umgesetzte Lösungen gibt, fällt es oft schwer, sich von dem bisherigen Stand zu trennen. Sprichwörtlich fällt es schwer, „das Rad neu zu erfinden“.

Zu diesem Zweck sind in der VDI-Richtlinie 2222-Blatt 1 (s. Abbildung 8) die wesentlichen Schritte von der Aufgabenstellung bis hin zum Ergebnis, der konzeptionellen Lösung, gegeben.

Nachdem zunächst die Aufgabenstellung geklärt ist, wird diese präzisiert. Daraus ergeben sich Anforderungen, die in der Anforde-

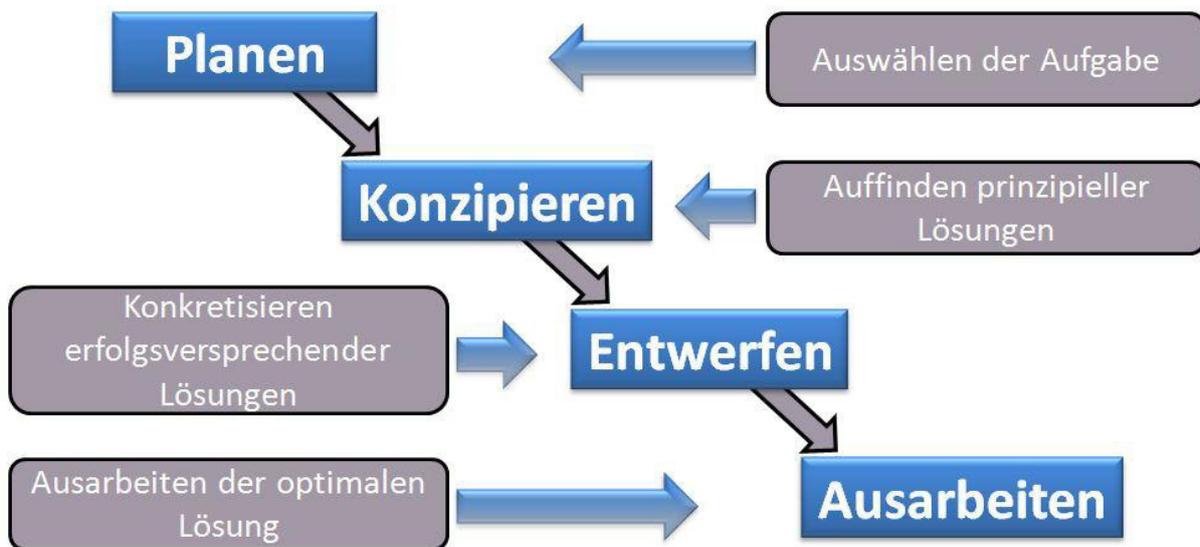


**Abbildung 8: Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren nach VDI 2222 [5]**

rungsliste festgehalten werden.

Im Anschluss an die Formulierung einzelner Anforderungen wird das Produkt hinsichtlich seiner Funktionen aufgegliedert. Dies geschieht je nach Grad der Detaillierung bis hin zu den Teilfunktionen.

Das „Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen“ geschieht durch den Einsatz des morphologischen Kastens. Dort werden zu den zuvor definierten Funktionen Lösungsprinzipien gesammelt. Aus der entstehenden Auswahl an Lösungen werden dann Konzepte ausgewählt, die abschließend bewertet werden.



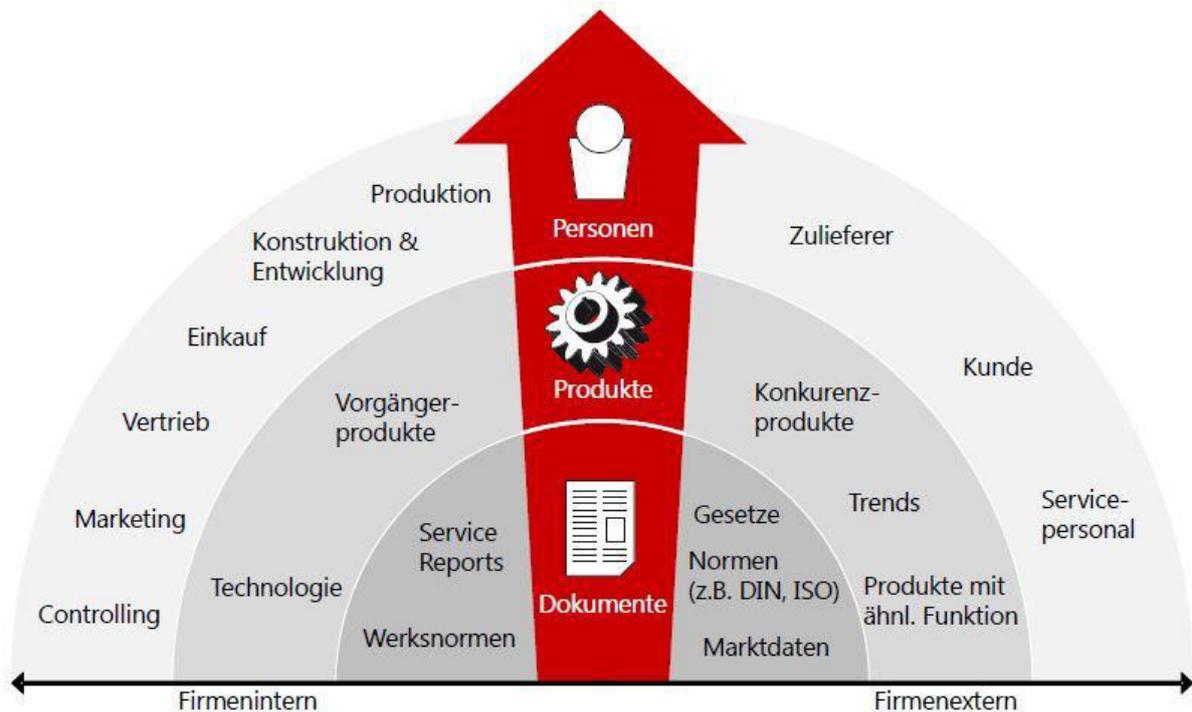
**Abbildung 9: Stufen des methodischen Konstruierens im Überblick (eigene Darstellung)**

Die Methodik kann dann bereits enden oder bis zur Produktdokumentation weiterreichen.

Im Folgenden sollen die einzelnen Bereiche näher erläutert werden.

### 2.2.1 Anforderungsliste

Den ersten Schritt und somit die Grundlage der Konzeptentwicklung stellt die sogenannte Anforderungsliste dar. Hier werden alle Forderungen, die an das Produkt/ die Lösung gestellt werden, gesammelt. Quellen der Anforderungsliste können zum einen firmeninterne Faktoren wie Werksnormen, Vorgängerprodukte sein oder durch bestimmte Personen der Firma entstehen, zum anderen ist aber auch die firmenexterne Beeinflussung durch Marktdaten, Trends und Kundenvorstellungen gegeben [6].



**Abbildung 10: Quellen für Anforderungen [6]**

Hat man die Anforderungen erstellt, ist es sinnvoll diese strukturiert aufzulisten. Beim späteren Bewerten der einzelnen Lösungskonzepte wird sich das als Vorteil herausstellen.

Grundsätzlich wird zwischen Forderungen und Wünschen unterschieden. Als Forderungen bezeichnete Anforderungen müssen vom Produkt erfüllt werden. Sobald eine dieser Forderungen nicht erfüllt wird, kann die Lösungsvariante, an die man diese Bedingungen stellt, nicht umgesetzt werden. Wünsche werden gewichtet. In der folgenden Tabelle 2 ist die Bedeutung der Gewichtungen dargestellt. Je höher die Gewichtung ist, desto dichter liegt die Relevanz des Wunsches an der einer Forderung [7].

**Tabelle 2: Bewertungsskala [7]**

Gewichtung	Bedeutung
W4	Sehr wichtig
W3	Wichtig
W2	Interessant
W1	Wenn möglich

Die Definition der Anforderungen sollte eindeutig und nach Möglichkeit unter Angabe von konkreten Zahlenwerten geschehen. Bei nachträglichen Änderungen stehen dem Anwender die Spalten „Änderung“ und „Verantwortlicher“ zur Verfügung, um einen Ansprechpartner für spätere Rückfragen zu haben.

Der Aufbau einer solchen Anforderungsliste ist in Tabelle 3 dargestellt.

**Tabelle 3: Beispiel für eine Anforderungsliste**

<b>ANFORDERUNGSLISTE</b>				
Amandus Kahl GmbH & Co. KG			Auftragsnummer:	
	<b>Innenabstützung Matrize und Abbrechvorrichtung</b>		Erstellt am:	14.6.2013
			Erstellt von:	Meyer
			Seite:	1
			Anzahl Blätter:	1
Lfd.	F / W	Anforderung	Verantw./ Abteilung	Datum / Änderung

### 2.2.2 Abstrahieren

Das Abstrahieren dient dem Zweck, die wesentlichen Probleme zu erkennen. Dabei kommt es darauf an, sich von dem bisherigen Detailwissen zu trennen, und das Allgemeingültige und Wesentliche hervorzuheben [8, Kapitel 4, Seite 195-196]. Auf diese Art und Weise eröffnen sich neuartige Kombinationen und Lösungen eines Problems.

Es besteht eine erhöhte Gefahr, dass man sich bei der Konstruktion eines Auftrages zu sehr an bereits bestehende Lösungen hält. Das kann auf Dauer Gefahren mit sich bringen, in dem beispielsweise immer der gleiche Werkstoff verwendet wird oder sich ändernde Normen nicht beachtet werden.

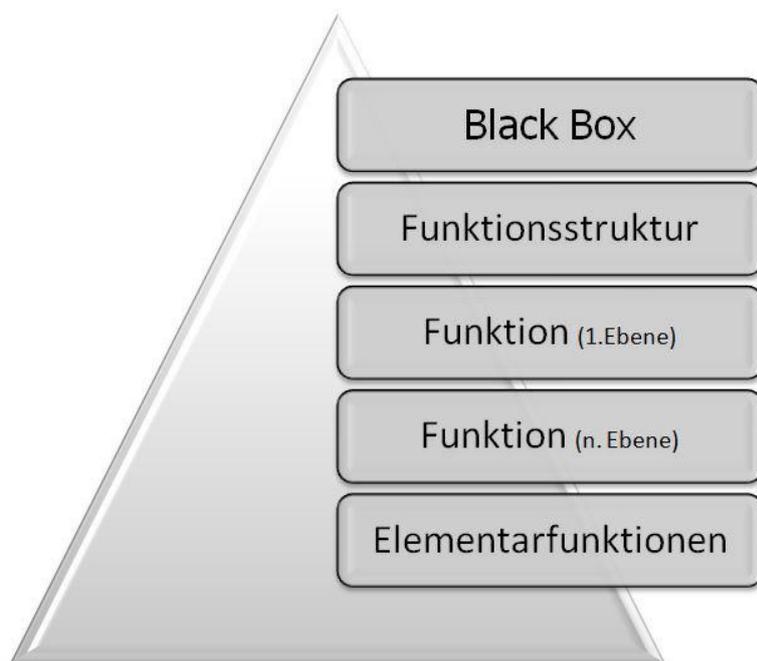
Folgende Schritte führen zum Wesenskern der Aufgabe [12, Seite 49-50]

- Weglassen gedanklicher Wünsche
- Weglassen von Forderungen, die nicht unbedingt die wesentliche Funktion betreffen
- Umsetzen quantitativer in qualitative Aussagen
- Lösungsneutrales Formulieren des Problems

### 2.2.3 Funktionsanalyse

Funktionsstrukturen werden erstellt, um die Lösungsfindung einfacher zu gestalten. Die häufig zu komplexe Gesamtfunktion einer Konstruktion soll in mehrere Funktionen zerlegt werden.

Die oberste Ebene der dargestellten Funktionspyramide (Abbildung 11) ist die sogenannte Black Box. Mit Hilfe der Black Box wird der Kern des Problems erfasst, zudem werden die Eingangs-



bzw. Ausgangsgrößen Energie, Stoff und Signal definiert.

Als Umsatzgröße Energie gilt mechanische, hydraulische, pneumatische, thermische oder elektrische Energie. Merkmale für die Umsatzgröße Stoff sind der Aggregatzustand, die Form (Körner, Pulver, Staub,...) und das Verhalten (starr, elastisch, zäh,...). Die Signaleigenschaften sind durch Steuerimpulse, Messgrößen, die Anzeige und die

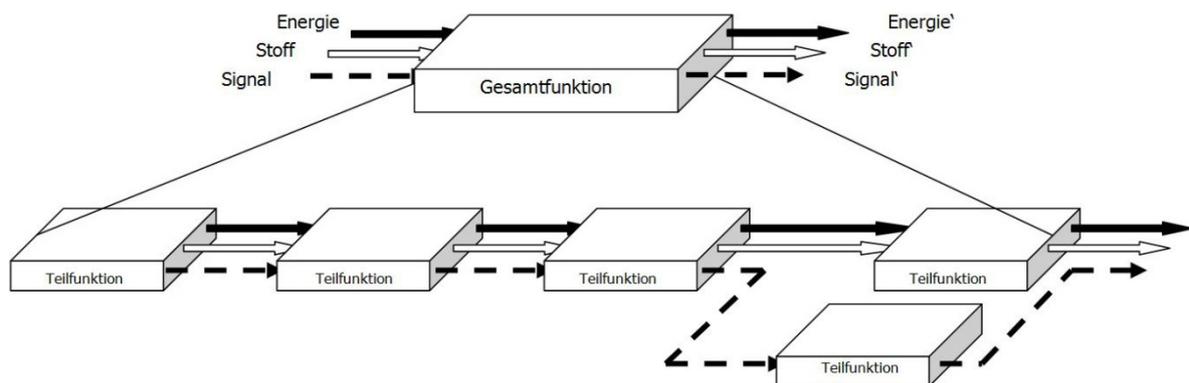
**Abbildung 11: Funktionspyramide [7, Seite 5-7]**

Daten definiert [7].

Diese Größen werden umgewandelt. Das muss nicht auf jede der technischen Größen zutreffen. In der Regel gibt es eine Größe, an der sich der Umsatz hauptsächlich festmachen lässt.

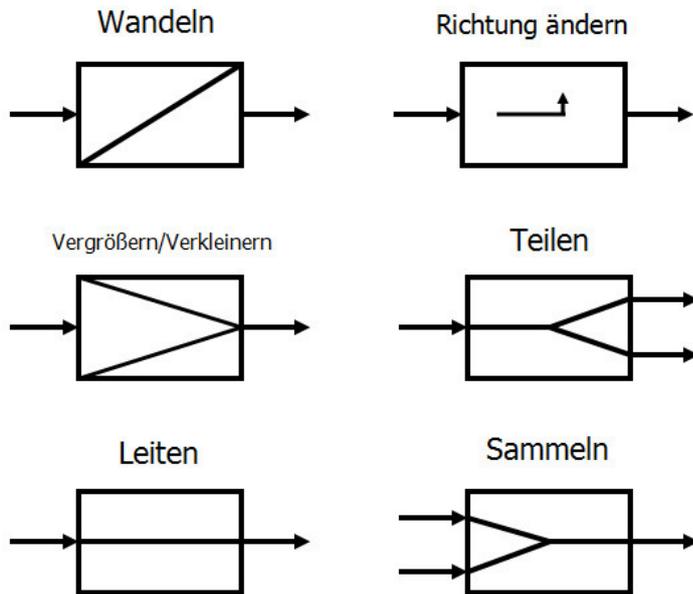
Dieser Sachverhalt wird deutlich, wenn man die in der Black Box beschriebene Gesamtfunktion in eine Funktionsstruktur untergliedert.

Dort werden die einzelnen Teilfunktionen beschrieben, zwischen denen sich die technischen Größen Energie, Stoff und Signal verändern können. Verdeutlicht wird dieser Zusammenhang in Abbildung 12, die aus einer Gesamtfunktion mehrere, für die Erfüllung der Gesamtfunktion notwendigen, Teilfunktionen miteinander verbunden darstellt. Es ist möglich die Funktionsstruktur beliebig zu vertiefen, d.h., dass auch die in Abbildung 12 dargestellte Struktur noch weiter verfeinert werden kann. So kann sich beispielsweise eine der Teilfunktionen aus mehreren weiteren, unteren Teilfunktionen ergeben. Je nach Anwendungsfall ergibt sich die Tiefe der Funktionsstruktur dann von selbst. Die Komplexität steigt, je weiter man in der Struktur nach oben kommt. Es ist also komplexer die Gesamtfunktion zu analysieren als eine Teilfunktion der untersten Ebene.



**Abbildung 12: Funktionsstruktur [8, eigene Darstellung in Anlehnung an Seite 41]**

Die unterste Ebene der dargestellten Funktionspyramide ist repräsentiert durch die Elementarfunktionen. Einige Beispiele für Elementarfunktionen liefert Abbildung 13.



Bei dieser Art von Funktionen handelt es sich um Funktionen, die nicht weiter untergliedert werden können. Sie sind allgemein anwendbar, unabhängig von der Aufgabenstellung. Es ist jedoch nicht immer notwendig, die Elementarfunktionen mit aufzuführen.

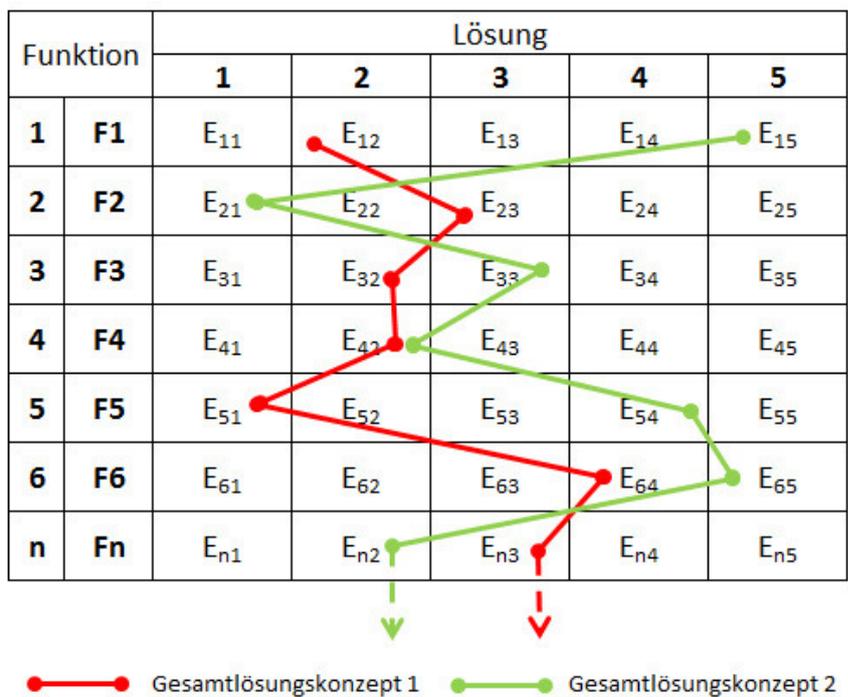
**Abbildung 13: Elementarfunktionen nach Koller**

### 2.2.4 Morphologischer Kasten

Der morphologische Kasten ist ein Werkzeug, mit dem sich verschiedene Wirkprinzipien zu einer Wirkstruktur verbinden lassen, um kreativ und vorurteilslos komplexe Aufgabenstellungen zu bewältigen.

In Abbildung 14 [8, Seite 127] ist beispielhaft der Aufbau eines solchen morphologischen Kastens gezeigt. In der ersten Spalte sind die geordneten Teilfunktionen in der Reihenfolge aufgelistet, sodass zunächst mit der wichtigsten Teilfunktion begonnen wird.

Für jede der Teilfunktionen wird eine Anzahl an möglichen Teillösungen aufgelistet. Es bietet sich an, auch hier so vorzugehen, dass Teillösungen in Klassen zusammengefasst werden. So kann man Teillösungen nach Wirkprinzipien unterscheiden. Wirkprinzipien können dabei hydraulisch, elektrisch, mechanisch, etc. sein.



**Abbildung 14: Beispielhafte Darstellung eines morphologischen Kastens [8, Seite 127]**

Durch Verbinden unterschiedlicher Lösungen für unterschiedliche Funktionen erhält man ein Gesamtlösungskonzept. Die Kombination aus den sinnvollsten und verträglichsten Lösungen, ist zu präferieren. Um sich zu verdeutlichen, wie viele Möglichkeiten grundsätzlich entstehen können, stelle man sich einen morphologischen Kasten vor, der nur drei Funktionen und drei Lösungen enthält. Schon dieser verhältnismäßig übersichtliche Kasten bietet eine enorm hohe Anzahl an

möglichen Gesamtlösungskonzepten<sup>4</sup>. Es ist also von großer Bedeutung, dass man eine Vorauswahl trifft, und nur mit den besten drei bis fünf Gesamtlösungskonzepten weiterarbeitet. Zu diesem Zeitpunkt besteht noch keine Gewissheit darüber, welche der Gesamtlösungskonzepte am besten abschneidet. Die Gesamtlösungskonzepte werden einer Bewertung unterzogen.

### 2.2.5 Bewertung von Lösungsvarianten

Bewerten heißt vergleichen. Die Bewertung findet gegenüber einem Zielsystem, welches aus der Anforderungsliste stammt, statt. So werden zunächst die gefundenen Lösungen untereinander, dann die gefundene Lösung mit der Ideallösung verglichen.

Um den immer gleichen Ablauf einer solchen Bewertungsmethode einzuhalten, sind folgende Gesichtspunkte zu benennen.

Es müssen Bewertungskriterien geschaffen werden. Diese können sich aus der Anforderungsliste ableiten, aber auch beispielsweise aus Gesetzen oder Unternehmensrichtlinien.

Die Bewertungskriterien müssen hinsichtlich ihrer Bedeutung für den Gesamtwert noch einmal untersucht werden. Unwichtiges muss gestrichen werden, Forderungen und Wünsche der Anforderungsliste betrachtet werden. Nach wie vor gilt, dass eine Lösung nur dann in Betracht zu ziehen ist, wenn alle Forderungen erfüllt werden.

Der Einsatz dieser Verfahren steht am Ende der Konzept- oder Entwurfsphase. Wichtig für die Ergebnisqualität ist aber vor allem die Auswahl der Kriterien, an die sich die Bewertung hält, sowie das objektive Bewerten.

Es sind neben den beiden im Folgenden erläuterten Methoden „Nutzwertanalyse“ und „VDI 2225 – Teil 3“ noch zahlreiche andere Verfahren zur Bewertung von Lösungen vorhanden, diese Arbeit beschränkt sich jedoch auf die Genannten.

**Tabelle 4: Vergleich der Bewertungsskalen**

Wertskala			
Nutzwertanalyse		Richtlinie VDI 2225	
Pkt.	Bedeutung	Pkt.	Bedeutung
0	absolut unbrauchbare Lösung	0	unbefriedigend
1	sehr mangelhafte Lösung	1	gerade noch tragbar
2	schwache Lösung		
3	tragbare Lösung		
4	ausreichende Lösung	2	ausreichend
5	befriedigende Lösung		
6	gute Lösung mit geringen Mängeln	3	gut
7	gute Lösung		
8	sehr gute Lösung		
9	über die Zielvorstellung hinaus gehende Lösung	4	sehr gut (ideal)
10	Ideallösung		

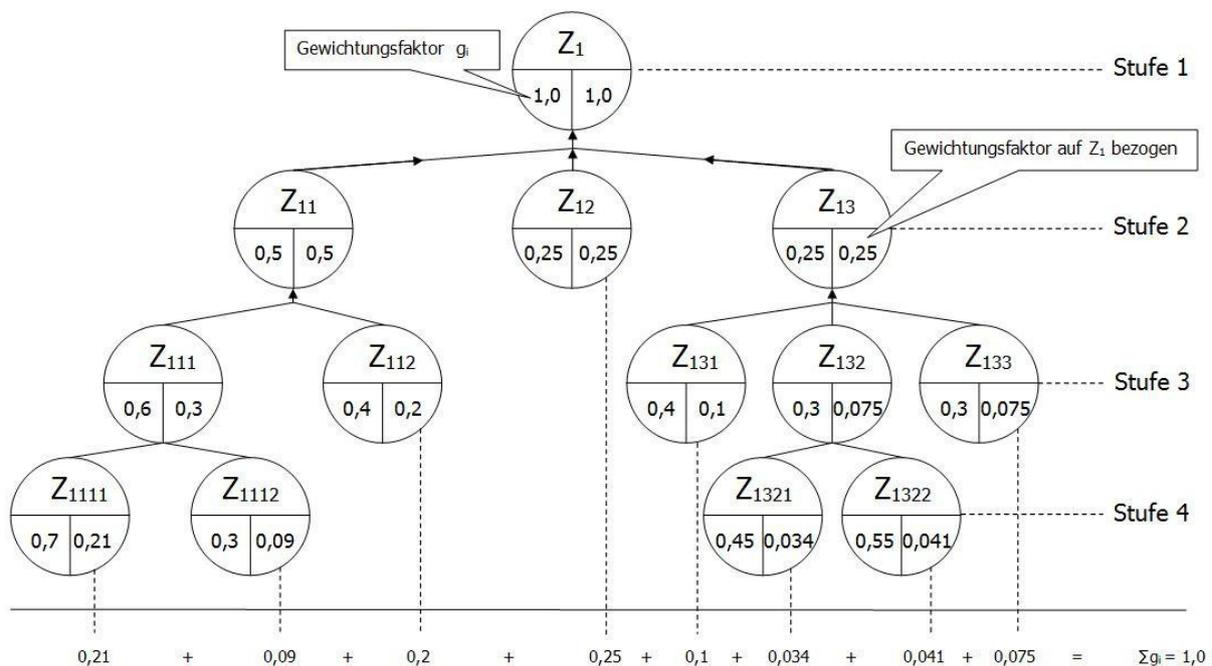
<sup>4</sup> Die Zahl der möglichen Gesamtlösungskonzepte setzt sich aus der Anzahl der Teillösungen (L) und Anzahl der Teilfunktionen (F) zusammen. Die Formel  $L^F$  beschreibt diesen Sachverhalt. Bei dem genannten Beispiel von  $F=L=3$  ergibt das eine Anzahl von  $3^3 = 27$  Gesamtlösungskonzepten.

### 2.2.5.1 Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse ist ein Verfahren zur Bewertung von technischen Systemen oder einzelnen Objekten. Dieses Verfahren wird als „nicht monetär“ eingestuft.

Beim Ablauf der Nutzwertanalyse sind grob drei Punkte zu beachten. Nachdem im ersten Schritt die Zielkriterien aufgestellt und im zweiten Schritt die Gewichtungen definiert wurden, wird im letzten Schritt die eigentliche Bewertung durchgeführt.

Das Aufstellen der Zielkriterien erfolgt auf Basis der Anforderungsliste, von Normen oder Unternehmensrichtlinien. Die Ziele werden hierarchisch in Form eines Zielbaums geordnet [8, S. 184]. Ein Beispiel für die hierarchische Ordnung ist in Abbildung 15 zu sehen.



**Abbildung 15: Schematische Darstellung der Nutzwertanalyse in Anlehnung an Pahl/Beitz [8, Seite 136]**

Ziele der Stufe eins sind Hauptziele. Davon können beliebig viele existieren, hier ist zur Veranschaulichung lediglich ein Hauptziel dargestellt. Diese sind je nach Relevanz unterteilt in Unterziele (Stufe 2) und Teilziele (Stufe 3 abwärts). Wie viele Stufen letzten Endes gewählt werden ist abhängig vom Umfang der Aufgabenstellung.

Die Gewichtung eines Ziels wird direkt in der Hierarchie mit angegeben. Sie entspricht dem unteren, linken Wert der Textblase (vgl. Abbildung 15). Die Summe der Gewichtungen der Ziele einer Stufe muss der Gewichtung des übergeordneten Ziels entsprechen. In der in Abbildung 15 darge-

stellten Hierarchie stellt der untere, rechte Wert einer jeden Textblase die Gewichtung in Bezug auf das oberste Ziel dar.

Es ist auch die Darstellung in tabellarischer Form möglich. In Tabelle 5 ist exemplarisch die Durchführung einer Nutzwertanalyse anhand des Anwendungsbeispiels „Telefon“ durchgeführt.

**Tabelle 5: Tabellarische Form der Nutzwertanalyse**

Bewertungskriterien	Faktor Gewichtung $G_i$	Eigenschafts- größe	Einheit	Lösungskonzept 1			Lösungskonzept 2		
				Eigenschafts- größe	Wert $W_i$	gewichteter Wert $G_i \cdot W_i$	Eigenschafts- größe	Wert $W_i$	gewichteter Wert $G_i \cdot W_i$
Ergonomie	0,2	Haptik		Standard	4	0,8	Komfort	9	1,8
Stromverbrauch	0,1	Watt	W	30	8	0,8	75	5	0,5
Größe Display	0,4	Zoll (")	["]	3,0"	4	1,6	6,2"	7	2,8
Farbdisplay	0,15	Anzahl Farben		1.200.000	7	1,05	5.000.000	8	1,2
Tonqualität	0,15	Rauschen	dB	0	10	1,5	0	10	1,5
:									
	$\Sigma$	1			33	5,75		39	7,8
Gewichtete Wertigkeit : Summe / max. mögliche						0,58			0,78

Das Lösungskonzept mit der höchsten gewichteten Wertigkeit ist die zu präferierende Variante.

Der gewichtete Wert ergibt sich aus der Multiplikation von Gewichtung  $G_i$  und Wertigkeit  $W_i$ . Der gewichtete Gesamtwert  $GW$  ist dann die Summe aller gewichteten Werte

$$GW = \sum_{i=1}^n G_i \cdot W_i \quad (2)$$

Um abschließend die Varianten untereinander am besten vergleichen zu können, lässt sich die gewichtete Wertigkeit  $WG$  berechnen

$$WG = \frac{\sum_{i=1}^n G_i \cdot W_i}{W_{max}} \quad (3)$$

Dieser Wert ist im Idealfall =1. Je dichter dieser Wert an der maximal zu erreichenden Punktzahl liegt, desto eher ist die Lösungsvariante durchzusetzen. In Tabelle 5 ist die gewichtete Wertigkeit mit der Farbe Grün hinterlegt.

### 2.2.5.2 VDI-Richtlinie 2225 – Teil 3

Die Bewertung nach „Kesselring“ ist auch als „technisch-wirtschaftliche“ Methode oder aber als VDI-Richtlinie 2225 bekannt.

Für die Durchführung dieser Variante der Bewertung werden nur die in der Anforderungsliste definierten Anforderungen „Mindestanforderung“ und „Wunschanforderung“ berücksichtigt. Festanforderungen müssen zwingend erfüllt werden, andernfalls scheidet die Lösungsvariante sofort aus [9, Seite 2]. Die Über- oder Unterschreitung der für die Bewertung nach Kesselring entscheidenden Anforderungen machen dann den Unterschied aus.

Für die Art der Bewertung nach Kesselring werden technische und wirtschaftliche Bewertungen betrachtet. Technische Gesichtspunkte können dabei Aspekte wie Ergonomie oder Raumbedarf sein, die unter Umständen erst nach dem Entwurf eines Konzepts erkennbar werden. Ebenso zu den technischen Anforderungen können Aspekte wie Wirkungsgrad, Genauigkeit, etc. zählen. Anhand der Bewertungsskala ergibt sich dann ein Wert für die technische Wertigkeit.

Jede Eigenschaft wird mit Hilfe der Skala (Tabelle 4) bewertet. Die Summe der einzelnen Bewertungen ( $\sum_{i=1}^n p_i$ ) wird durch das Produkt aus Anzahl der Eigenschaften ( $n$ ) mit der zu erreichenden Maximalpunktzahl ( $p_{max}$ ) geteilt. Es ergibt sich die technische Wertigkeit

$$x = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n}{n \cdot p_{max}} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n \cdot p_{max}} \quad (4)$$

Das setzt voraus, dass jede Eigenschaft gleich gewichtet ist. Ist dies nicht der Fall, muss noch der gewichtete Mittelwert gebildet werden.

Die wirtschaftliche Wertigkeit ist bestimmt durch die Herstellkosten [9, Seite 5]. Gemessen an einer wirtschaftlichen Ideallösung wird das vorliegende Lösungskonzept bewertet. Anhand der ermittelten idealen Herstellkosten wird analog ein Wert  $y$  für die wirtschaftliche Wertigkeit ermittelt

$$y = \frac{0,7 \cdot H_{zul}}{H} \quad (5)$$

Die idealen Herstellkosten werden mit  $H_{zul}$  angegeben. Als „gutes Ergebnis“ gilt es, wenn die Kosten 70 Prozent des Wertes der idealen Kosten annehmen [9, Seite 5].

Die Ergebnisse der ermittelten Werte für die technische und die wirtschaftliche Wertigkeit werden in ein zweidimensionales sogenanntes Stärkediagramm eingetragen. Je nach Wahl gibt es ein „Geradenverfahren“ oder ein „Hyperbelverfahren“ [10, Seite 42]. Je dichter der Punkt aus x- und y-Koordinate an der gewählten Kurve liegt, desto eher entspricht er der Ideallösung.

Die beschriebenen Bewertungsverfahren eignen sich hervorragend, um eine objektive, von Vorurteilen losgelöste, Bewertung durchzuführen. Durch die Darstellung in Tabellen oder Grafiken (Abbildung 15) lassen sich Ergebnisse auf eine interessante Weise präsentieren. Wird das Ergebnis der Entscheidung schriftlich festgehalten, ist der Kenntnisstand archiviert und auch nach längerer Zeit können Entscheidungen nachvollzogen werden [7, Seite 7-37].

In dieser Arbeit wird die Bewertung nach der Nutzwertanalyse durchgeführt, da die feinere Unterteilung der Bewertungsskala sinnvoller und für die Aufgabenstellung passender erscheint.

### 3 Anwendung

Im Nachfolgenden werden nun die Instrumente des methodischen Konstruierens auf die Aufgabenstellung angewendet. Beginnend mit der Anforderungsliste wird mit der Funktionsstruktur und dem morphologischen Kasten auf die verschiedenen Lösungsprinzipien eingegangen, die es im Nachhinein zu bewerten gilt.

#### 3.1 Anforderungsliste

Die Anforderungsliste beinhaltet alle Wünsche und Forderungen die an die Lösung für die gesuchte Innenabstützung der Matrize gestellt werden.

In nachfolgender Tabelle ist die für die Aufgabenstellung erarbeitete Liste abgebildet.

**Tabelle 6: Anforderungsliste (Fortsetzung auf folgender Seite)**

<b>ANFORDERUNGSLISTE</b>				
Amandus Kahl GmbH & Co. KG			Auftragsnummer:	
	<b>Innenabstützung Matrize und Abbrechvorrichtung</b>		Erstellt am:	14.6.2013
			Erstellt von:	Meyer
			Seite:	1
			Anzahl Blätter:	1
Lfd.	F/W	Anforderung	Verantw./Abteilung	Datum / Änderung
		<b>Allgemeines</b>		
		eingehende Größen: Motorkraft (2 x 225kW) & Hydraulikdruck (180bar)	TB-K	
		Überlagerung durch Stöße		
		Holz (artenabhängig bzgl. Korrosivität) Eiche mit Gerbsäure	TB-PA	29.06.13
1	F	Durchbiegung der Matrize < 0,3 mm		
2	F	Abschneiden/-brechen der Pellets		
3	F	Austragen der Pellets		
4	F	Freie Bewegung der (rotierenden) Abschneider		
5	W4	Einstellbarkeit der Pelletlänge		02.08.13
6	W4	Grobeinstellung der Höhe der Matrize		
7	W4	Feineinstellung der Höhe der Matrize (Vorspannung)		08.08.13
8	F	Beanspruchungsgerechte Auslegung in Bezug auf Kräfte		
9	F	Beanspruchungsgerechte Auslegung in Bezug auf Korrosion		
10	F	Keine Funktionsbeeinträchtigung durch Temperatur, Temperaturbereich 0°C < t < 110°C		

11	F	Betrieb bei IP 54		25.06.13
12	W3	Demontage der Innenabstützung nach Abheben der Matrize	Montage	25.06.13
13	F	Integration in den vorhandenen Raum		
14	W2	Demontageaufwand zum Nachstellen der Innenabstützung	Montage	26.06.13
15	W4	Höhen- und Verdrehsicherung		
16	W2	Demontage (Sicherheit)		14.08.13
17	W1	geringer Wartungsaufwand		
18	W2	Reparaturfreundliche Ausführung	AV	
19	W1	Eigenfertigung		25.06.13
20	F	Zukauf von Normteilen	TB-D	
21	F	Berücksichtigung der Maschinenrichtlinie		
22	F	Berücksichtigung aller geltender Werksnormen		01.07.13
23	W2	Kosten im Rahmen ~4200€	FiReWe	01.07.13

Die Anforderungen sind in der ersten Spalte mit einer laufenden Nummer versehen. Auf eine Einteilung nach Themen und Überschriften wurde bewusst verzichtet. Um die Relevanz einzelner Anforderungen übersichtlich darzustellen, ist jeder Anforderung ein Attribut zugeordnet. Eine Forderung (F) hat die höchste Priorität, ein Wunsch (W 1-4) sinkende Priorität, je kleiner die auf das „W“ folgenden Ziffern sind.

Zu Beginn wird auf die Randbedingungen eingegangen. Die eingehende Energie, die sich aus der Motorleistung von zwei Motoren á 225kW und einem Hydraulikdruck von 180bar zusammensetzt ist ebenso von Bedeutung wie das Auftreten von Stößen und der Einsatz des zu bearbeitenden Rohmaterials, Holz.

Die unter laufenden Nummern aufgeführten Anforderungen beginnen mit den für die gesuchte Lösung unumgänglichen Anforderungen. Ohne die Erfüllung dieser Anforderungen wäre die Funktionalität der Presse nicht aufrecht zu erhalten. Daher sind die Anforderungen eins bis vier als Forderungen deklariert. Die Durchbiegung der Matrize muss kleiner als 0,3 mm sein, da eine Behebung des Problems nur unterhalb dieses Wertes möglich ist. Das Abschneiden/-brechen der Pellets sowie das anschließende Austragen müssen für den Pelletierprozess gewährleistet sein, da die Presse sonst in ihrer Funktion beeinträchtigt wäre. Die Einstellbarkeit der Pelletlänge, sowie die Grob- und Feineinstellung der Höhe der Innenabstützung sind Anforderungen, die als Wunsch ausgeführt sind. Aufgrund der Vielzahl der im Rahmen des Projekts „Enviva“ eingesetzten Pressen ist es von hoher Bedeutung Fertigungsabweichungen ausgleichen zu können. Da im Fall der Matrizendurchbiegung bereits wenige Zehntel Millimeter einen hohen Stellenwert einnehmen, müssen selbst geringste Abweichungen individuell angepasst werden. Die Matrize vorzuspannen kann ein Weg sein, der trotz Verstärkung durchbiegenden Matrize „entgegentzukommen“. Diese

Anforderungen sind aber als Wunsch auszuführen. Diese Wünsche sind jedoch als sehr wichtig zu beschreiben und erhalten die Kategorie „W4“.

Das die gesuchte Lösung der Belastung stand hält ist von hoher Bedeutung, weshalb diese Anforderung als Festanforderung ausgeführt ist. Da das zu pelletierende Material eine korrosive Wirkung aufweist, ist zwingend auf eine materialtechnische Auslegung aller Teile zu achten. Durch die im Dauerbetrieb auftretende Reibung von Holzpellets und beweglichen Teilen der Austragevorrichtung ist eine verschleißbeständige Oberfläche der gefährdeten Teile ratsam.

Die Umgebung innerhalb der Presse, der die Pellets, aber auch die zu verbauenden Teile ausgesetzt sind, sind sowohl temperatur- als auch staubbedingt zu berücksichtigen. Temperaturen von bis zu 110°C sowie eine Staubatmosphäre, die den Bedingungen der IP-Schutzklasse 54 entspricht.

Seitens der Montageabteilung sind die Wünsche zu berücksichtigen, dass zeitlich effizient und ohne großen Aufwand Teile ausgetauscht werden können. Der Sicherheitsgedanke darf auch bei dieser Konstruktion nicht zu kurz kommen, was bei der Ausstattung einer Hebevorrichtung sowie der Begrenzung des Geräuschpegels Berücksichtigung finden soll, was jedoch auch schon durch die Maschinenrichtlinie 2006/42/EG vorgeschrieben ist.

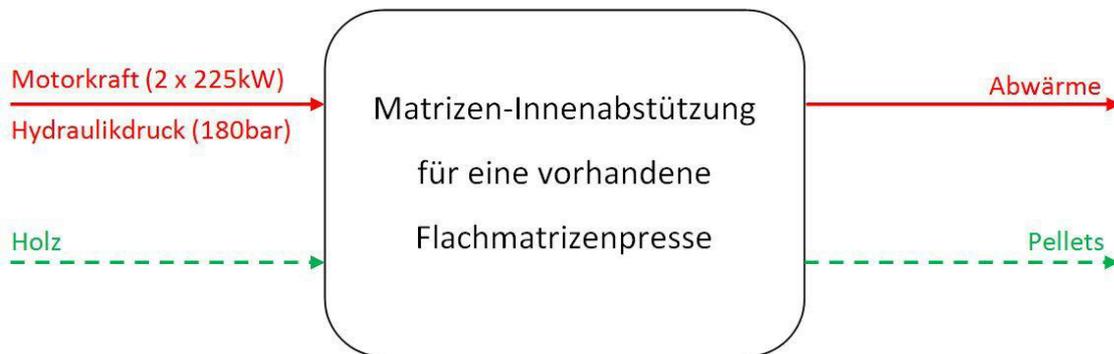
Ein geringer Wartungsaufwand ist ebenso von Bedeutung wie eine Höhen- und Verdrehsicherung. Während des Betriebes kann die Matrize zumindest stückweise in Rotation versetzt werden, weshalb auch die gesamte Innenabstützung gegen Verdrehen zu sichern ist. Aufgrund der regelmäßig eintretenden Wartungszyklen könnte jedoch regelmäßig nachjustiert werden. Daher erhält die Anforderung „geringer Wartungsaufwand“ das Attribut „W1“ (wenn möglich). Die Höhen- und Verdrehsicherung hingegen ist als Wunsch der höchsten Kategorie auszuführen (W4).

Gemäß der Unternehmensphilosophie, eine so hohe Fertigungstiefe wie möglich zu haben, wäre es zu bevorzugen, Teile am Standort Reinbek zu fertigen. Da diese Entscheidung bei Konstruktionen kleinerer Stückzahl aber meistens von anderen Faktoren abhängig gemacht wird, ist diese Anforderung lediglich als Wunsch der Kategorie „1“ ausgeführt.

Die Kosten der bisher bestehenden Lösung liegen laut der Abteilung für Finanz- und Rechnungswesen bei ca. 4.200€. Da diese Lösung aber einige der als Forderungen deklarierten Merkmale ausschließt, ist mit höheren Kosten zu rechnen, weshalb diese Anforderung ebenfalls als Wunsch ausgeführt ist, der nur den Ansprüchen der Kategorie „2“ genügen muss.

## 3.2 Funktionsstruktur

Zunächst ist die Black Box zu erstellen. Betrachtet wird das grobe Gesamtsystem mit den Eingangs- und Ausgangsgrößen. Für die bestehende Aufgabe „Innenabstützung der Matrize für eine vorhandene Flachmatrizenpresse“ sieht die Black Box dann wie folgt aus.



**Abbildung 16: Black Box**

Die Eingangsgröße „Energie“ setzt sich hier aus der eingehenden Motorkraft und dem Hydraulikdruck zusammen. Die energetische Größe verlässt das System in Form von Abwärme. Die Eingangsgröße „Stoff“ entspricht dem Eingangsprodukt Holz. Sie verlässt das System als Pellet. Die Größe „Signal“ entfällt. Auf die Einzelheiten wird im Folgenden eingegangen.

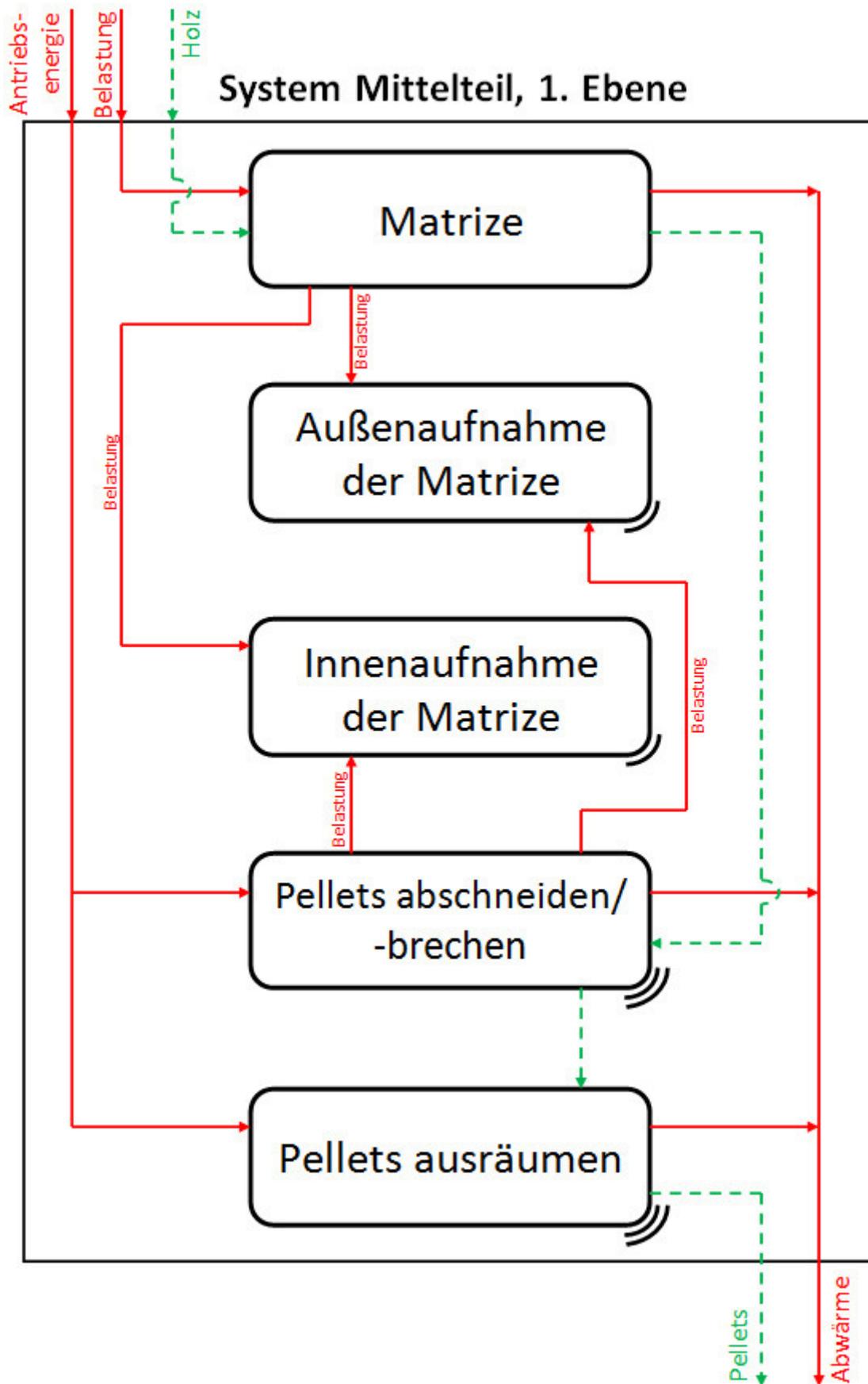


Diagramm 2: Funktionsstruktur, Ebene 1

Für die Erstellung der Funktionsstruktur bietet sich in diesem Fall an, das System räumlich zu zerlegen. Die obere Grenze des Systems „Mittelteil“ ist die Matrize, die untere Grenze die Ausräumeinheit. Alles was zwischen diesen beiden Elementen im Bauraum enthalten ist, ist von Bedeutung, alles andere hingegen nicht. Bauteile, die etwa knapp außerhalb des abgegrenzten Raums liegen, können zwar Einfluss auf das System haben, tauchen aber nicht in der Funktionsstruktur auf.

Die sich direkt unterhalb der Matrize befindende Außenaufnahme ist räumlich auf derselben Höhe wie die zu entwickelnde Innenaufnahme der Matrize. Aus Gründen der Darstellung sind diese beiden Elemente jedoch untereinander dargestellt. Unterhalb der Abstützungen folgen die Abbrech- und die Ausräumeinheit. Die vier Elemente „Außenabstützung“, „Innenabstützung“, „Pellets abschneiden“ und „Pellets ausräumen“ sind jeweils noch untergliedert in Funktionen unterer Ebenen, weshalb sie einen Hinweis an der unteren Rechten Kante beinhalten.

In roter Farbe dargestellt sind energetische Größen, grün gestrichelt dargestellt stoffliche Größen.

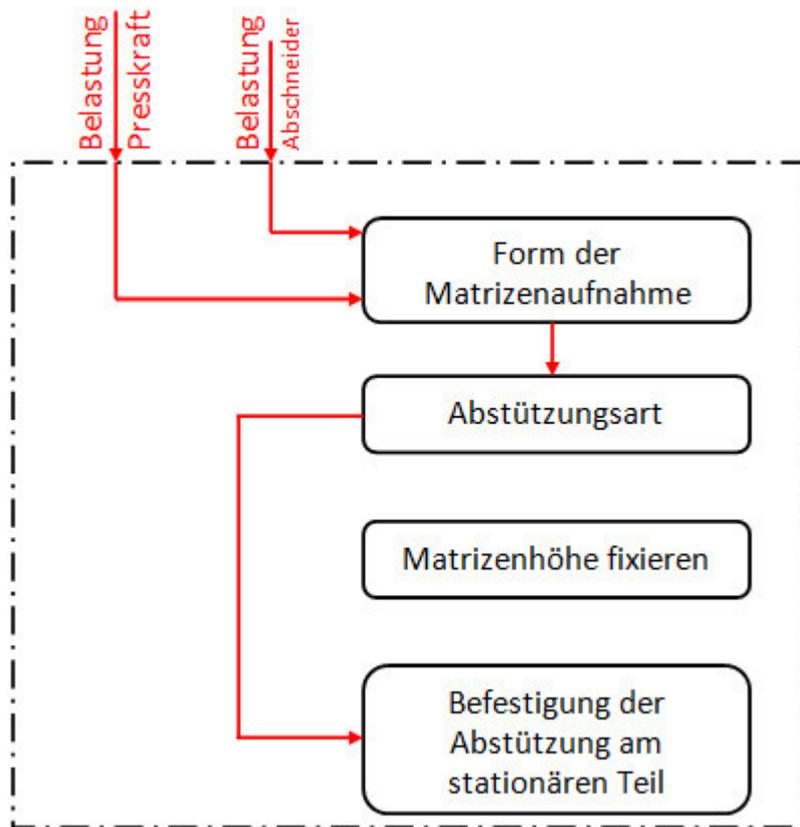
Für das betrachtete System „Mittelteil“ beeinflussen zwei Arten von Energien das System. Zum einen kommt Energie in Form von Belastung in Kontakt mit der Matrize, zum anderen gibt es eine Antriebsenergie für die Abbrech- und Ausräumeinheit.

Die Matrize leitet die Kraft der Belastung weiter auf die Außen- sowie die Innenaufnahme der Matrize. Des Weiteren werden die Außen- und Innenaufnahme durch Kräfte belastet, die durch das Abbrechen der Pellets auf der Unterseite der Matrize entstehen.

Die in die Abbrech- und Ausräumeinheit eingeleitete Energie verlässt das System in Form von Abwärme.

Die stoffliche Größe „Holz“ kommt bei Eintritt ins System zunächst mit der Matrize in Kontakt, durch welche es hindurchgepresst wird. Anschließend kommt das Holz sowohl mit Außen- und Innenaufnahme als auch mit den Abschneidern in Kontakt, bevor es durch die Ausräumeinheit das System „Mittelteil“ verlässt.

Der Aufgabenstellung entsprechend, eine Lösung für einen bereits vorhandenen Raum zu schaffen, ist die Matrize nicht weiter zu spezifizieren. Sie bleibt als Standard im Einsatz. Die Außen- sowie die Innenabstützung haben jeweils eine weitere Ebene von Teilfunktionen. Die Funktionen „Pellets abbrechen“ und „Pellets ausräumen“ sind in jeweils zwei weitere Ebenen untergliedert.



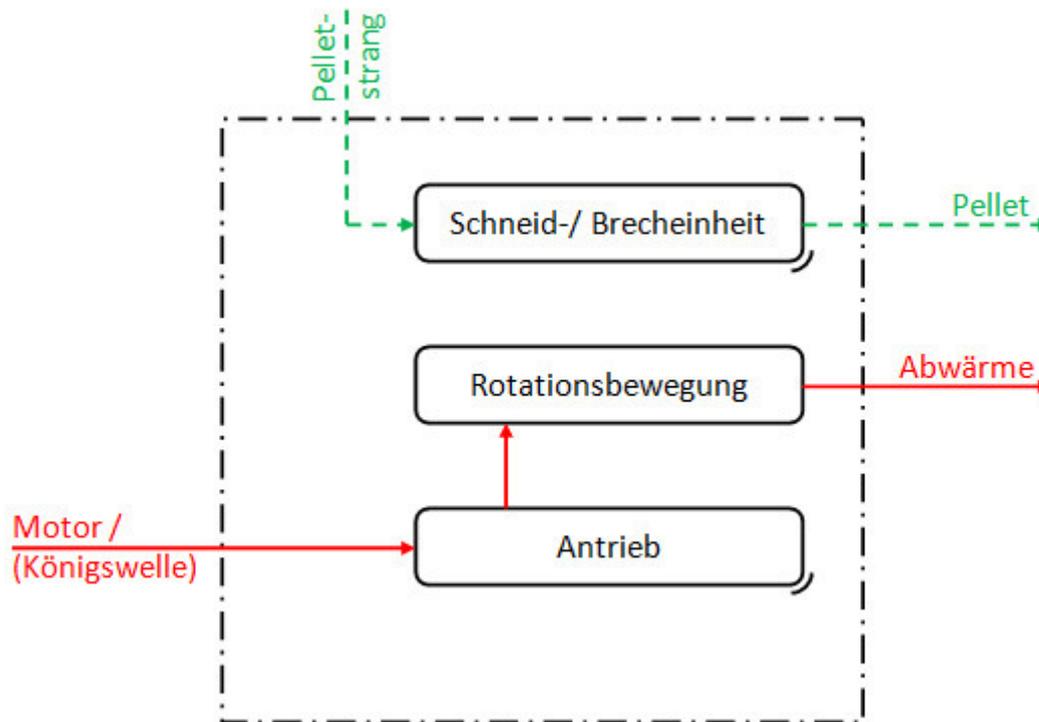
**Diagramm 3: Funktionsstruktur Innenabstützung, Ebene 2**

Teilfunktionen der Außenabstützung sind neben der Aufnahme der Matrize zum einen die Sicherung gegen Verdrehen und zum anderen die Zentrierung der Matrize. Die Funktion der Innenaufnahme der Matrize ist untergliedert in die Aufnahme der Matrize, die Abstützungsart, die Fixierung der Matrizenhöhe und die Befestigung der Abstützung am stationären Teil. Verdeutlicht wird dies durch das Diagramm 3. Die Energien, die durch die Presskraft und die Abscheider in das System kommen, wirken zunächst nur auf die Matrizenaufnahme, von welcher sie weiter an die Abstützungsart geleitet werden. Dem Kraftfluss entsprechend wird die Energie dann weiter auf die Befestigung am stationären Teil geleitet.

Teilfunktionen der Außenabstützung sind neben der Aufnahme der Matrize zum einen die Sicherung gegen Verdrehen und zum anderen die Zentrierung der Matrize.

Die Funktion der Innenaufnahme der Matrize ist untergliedert in die Aufnahme der Matrize, die Abstützungsart, die Fixierung der Matrizenhöhe und die Befestigung der Abstützung am stationären Teil. Verdeutlicht wird dies durch das Diagramm 3. Die Energien, die durch die Presskraft und die Abscheider in das System kommen, wirken zunächst nur auf die Matrizenaufnahme, von welcher sie weiter an die Abstützungsart geleitet werden. Dem Kraftfluss entsprechend wird die Energie dann weiter auf die Befestigung am stationären Teil geleitet.

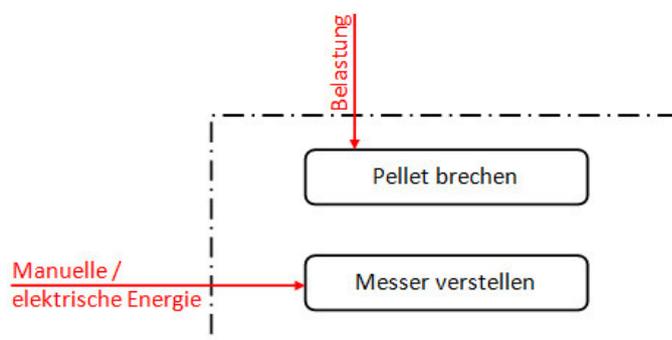
Die Funktion „Pellet abbrechen“ lässt sich zweifach untergliedern.



**Diagramm 4: Funktionsstruktur "Pellet abbrechen", Ebene 2**

Die sich bewegende Schneid-/Brecheinheit erfährt keine Belastung, sondern nur eine stoffliche Eingangsgröße. Der an der Unterseite der Matrize austretende Pelletstrang trifft auf die Brecheinheit, welche ihn kürzt, woraufhin ein Pellet entsteht der das System „Schneid-/Brecheinheit“ wieder verlässt. Die für den Brechvorgang notwendige Rotationsbewegung wird durch einen Antrieb erzeugt. Diesem ist die Eingangsgröße „Motor/ (Königswelle)“ zuzuordnen. Wie Diagramm 4 zu entnehmen ist, wird der Energiefluss vom Antrieb auf die Rotationsbewegung gleitet, von wo aus die Energie das System schließlich in Form von Abwärme verlässt.

In einer weiteren Ebene ist sowohl die „Schneid-/Brecheinheit“ als auch der „Antrieb“ untergliedert.

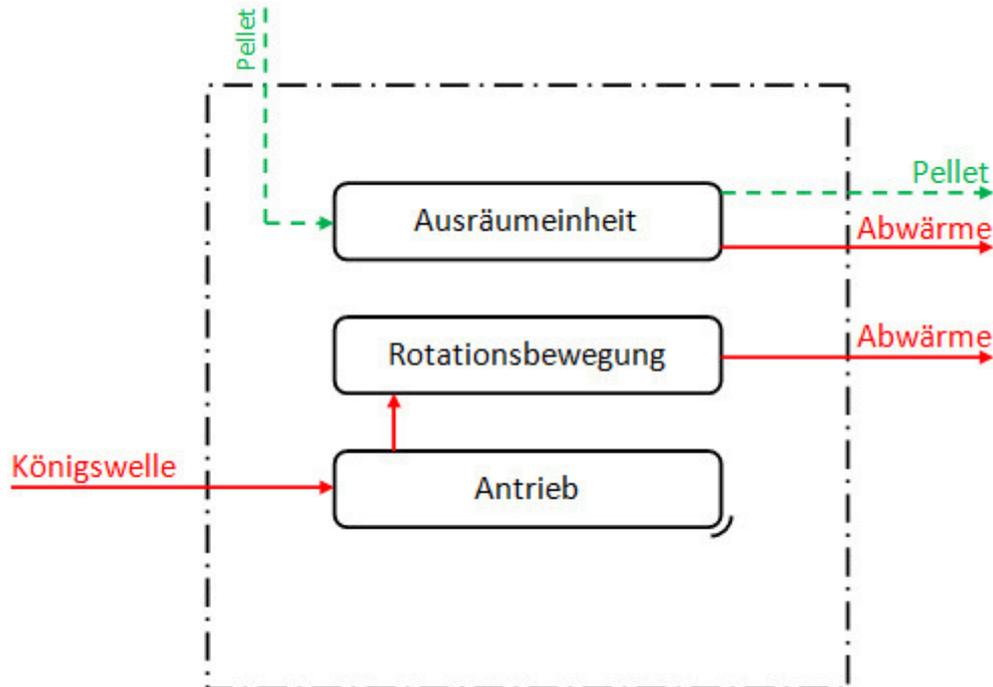


**Diagramm 5: Funktionsstruktur „Schneid-/Brecheinheit“, Ebene 3**

Diagramm 5 zeigt die dritte und in diesem Fall letzte Ebene der Unterteilung in Teilfunktionen. Auf die Funktion „Pellet brechen“ wirkt die Kraft des Pellets, auf die Funktion „Messer verstellen“ die zugeführte Energie. Ob diese manuell, elektrisch oder einer anderen Herkunft ist, wird später im morphologischen Kasten geklärt. Der Antrieb, der entsprechend Diagramm 3

ebenfalls in eine dritte Ebene unterteilt ist, lässt sich in die Teilfunktionen „Energilieferer“ und „Übertragung“ aufteilen.

Ebenfalls zweifach untergliedern lässt sich die Funktion „Pellets ausräumen“.



**Diagramm 6: Funktionsstruktur "Pellet ausräumen", Ebene 2**

Die Größe „Stoff“ wirkt in Form von Pellets, als welche sie das System auch wieder verlässt. Die Antriebsenergie, welche die Rotationsbewegung verursacht und als energetische Größe das System betritt, wird in Form von Abwärme aus dem System weichen. Auch hier ist die Teilfunktion „Antrieb“ in einer weiteren Ebene detailliert. Hier verhält es sich exakt wie in der dritten Ebene die bereits in Diagramm 5 dargestellt ist.

Alle Teilfunktionen der jeweils untersten Ebene werden nun im morphologischen Kasten aufgelistet. Dort werden dann zu jeder einzelnen Teilfunktion Lösungskonzepte gesucht, die anschließend beliebig miteinander kombiniert werden können.

### 3.3 Morphologischer Kasten

Für die aus der Funktionsanalyse stammenden und in der Funktionsstruktur festgehaltenen Funktionen und Teilfunktionen gilt es nun, Teillösungen zu finden. Dies geschieht mit Hilfe des morphologischen Kastens. Im Anschluss an die Erstellung des morphologischen Kastens werden Lösungspfade ausgewählt, die später miteinander verglichen und bewertet werden, um die optimale Lösung zu finden.

Zu diesem Zweck werden mit farblich unterschiedlichen Linien diejenigen Teillösungen verbunden, die präferiert werden. So ergibt sich eine beliebige Anzahl an Lösungen. Für den Fall der gesuchten Lösung der Innenabstützung der Matrize werden vier Lösungspfade gegenüber gestellt.

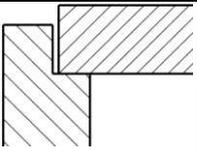
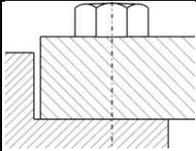
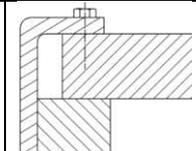
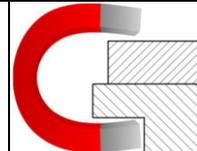
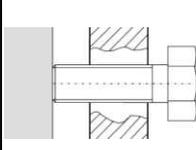
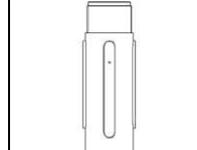
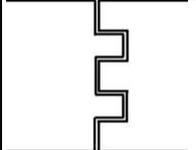
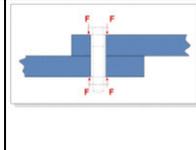
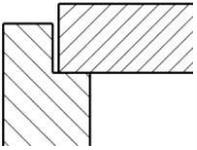
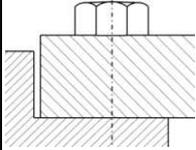
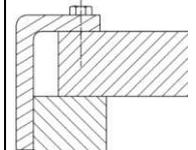
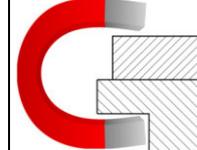
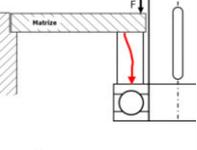
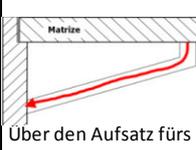
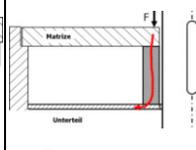
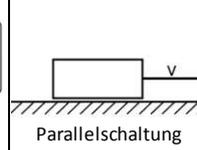
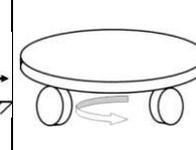
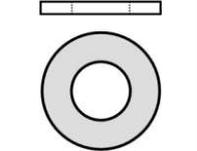
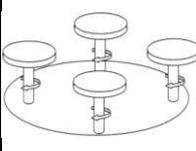
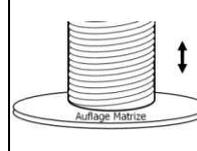
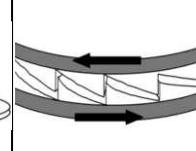
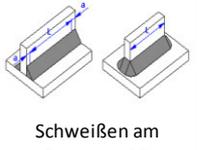
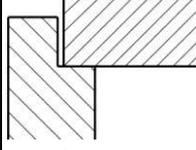
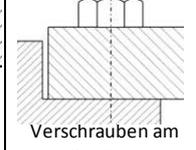
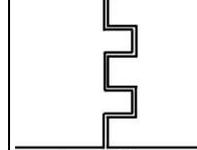
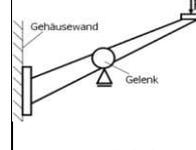
Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird der morphologische Kasten in aufgeteilter Form dargestellt und ist im Anhang vollständig abgebildet.

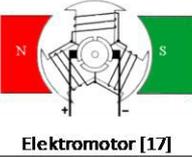
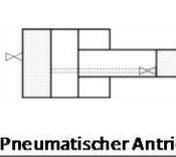
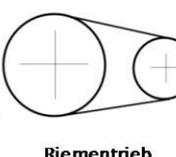
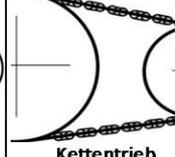
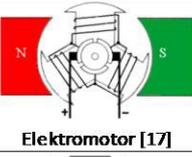
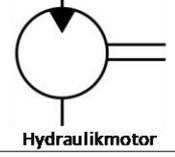
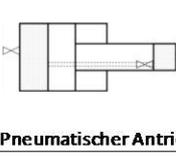
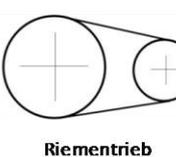
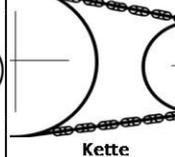
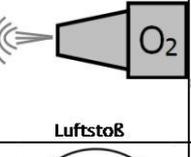
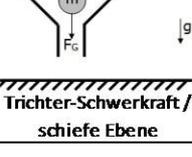
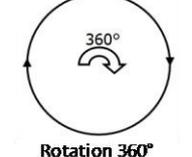
Auf einzelne Teillösungen sowie deren Spezifikationen wird zu einem späteren Zeitpunkt eingegangen. Des Weiteren wird dann detailliert auf die einzelnen Lösungspfade eingegangen.

Die aus der Erstellung der Funktionsstruktur resultierende Zeile „Matrize“ ist mit dem Wert „Standard“ belegt. Das hat zum Grund, dass die Matrize als feste Randbedingung übernommen wird und somit nicht zu den zu bearbeitenden Teilen gehört. Da die Matrize aber dennoch zentraler Bestandteil der Aufgabenstellung ist, ist es unerlässlich sie mit darzustellen.

Der Wert „Keine“ bedeutet, dass auf das jeweilige Element verzichtet werden kann. In bestimmten Fällen zieht eine Teilfunktion die Teillösung „Keine“ nach sich. Beispielsweise dann, wenn auf die Erfüllung einer Teilfunktion verzichtet werden kann, weil von der Erfüllung dieser Teilfunktion nicht die Funktionalität der Presse abhängt.

**Tabelle 7: Morphologischer Kasten (Fortsetzung auf folgender Seite)**

Ebene			Teillösungen				
1	2	3	1	2	3	4	5
Matrize			Standard				
Außenaufnahme der Matrize	Form der Matrizenaufnahme						
	Matrize zentrieren	Keine					
	Sicherung gegen Verdrehen	Keine					
Innenaufnahme der Matrize	Form der Matrizenaufnahme						
	Abstützungsart						
	Matrizenhöhe fixieren						
	Befestigung der Abstützung am stationären Teil						

Pellets abschneiden / abbrechen				Schneid- / Brecheinheit			
				Messer verstellen	Pellet brechen		
Antrieb		Energielieferer	 Elektromotor [17]	 Hydraulikmotor	 Pneumatischer Antrieb	 Verbrennungsmotor	
		Übertragung	 Königswelle	 Stirradgetriebe	 Riementrieb	 Kettentrieb	Keine
Antrieb		Energielieferer	 Elektromotor [17]	 Hydraulikmotor	 Pneumatischer Antrieb	 Verbrennungsmotor	
		Übertragung	 Königswelle	 Stirradgetriebe	 Riementrieb	 Kette	Keine
Rotationsbewegung		Ausräum-einheit	keine	 Luftstoß	 Trichter-Schwerkraft / schiefe Ebene	 Zentrifugalkraft (glatte Ebene)	 Zentrifugalkraft (Rotationsschieber)
		Rotationsbewegung	 Rotation 360°	 Oszillation	 Rotation um horizontale Achse	Keine	

### 3.4 Bewertung der Lösungsvarianten

Die dem kreativen Teil der Konzeptphase entsprungenen Lösungsvarianten werden nun bewertet. Um besser nachvollziehen zu können, aus welchen Teilfunktionen sich die einzelnen Lösungsvarianten zusammensetzen, ist der mit Pfaden versehene morphologische Kasten im Anhang dargestellt.

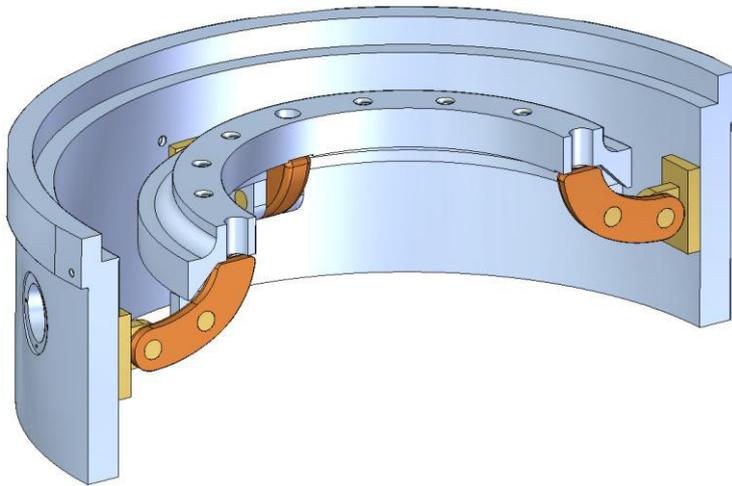
Dabei folgt die Bewertung in dieser Arbeit dem Prinzip der Lösungsbewertung. Zunächst wird jede Lösungsvariante auf die Erfüllung der Forderungen überprüft.

Dazu sind in der linken Spalte alle als Forderung deklarierten Merkmale der Anforderungsliste aufgelistet. Sie sind mit den laufenden Nummern aus der Anforderungsliste versehen. Nun wird für jede Lösungsvariante (LV) die Erfüllung jeder einzelnen Forderung überprüft. Mit einem Häkchen dargestellte Felder signalisieren die Erfüllung der Forderung, die mit einem Kreuz dargestellten Felder signalisieren, dass die Lösungsvariante der Forderung nicht genügt, was gleichbedeutend mit dem Ausscheiden dieser Variante. Die weitere Überprüfung kann man sich dann sparen.

**Tabelle 8: Erfüllung der Forderungen**

Lfd.	Forderungen	Rippen, Höhenverstellung Schrauben, Abscheider außen	Doppel-T-Träger, Höhenverstellung Distanzringe	Rippen, Höhenverstellung Gewinde, Abscheider innen	Kniehebel	flache Rippen, Höhenverstellung Gewinde	Rippen, Höhenverstellung Rampenfunktion	abgestützt über Mitte durch Rollen
		LV I	LV II	LV III	LV IV	LV V	LV VI	LV VII
1	Verhindern der Durchbiegung der Matrize <0,3mm	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓
2	Abschneiden/Abbrechen der Pellets	✓	✓	✓	✗		✓	✓
3	Austragen der Pellets	✓	✓	✓			✓	✓
4	Freie Bewegung der (rotierenden) Abscheider	✓	✓	✓			✓	✓
8	Beanspruchungsgerechte Auslegung i.B. auf Kräfte	✓	✓	✓			✓	✓
9	Beanspruchungsgerechte Auslegung i.B. auf Korrosion	✓	✓	✓			✓	✓
10	Keine Funktionsbeeinträchtigung durch Temperatur	✓	✓	✓			✓	✓
11	Betrieb bei IP 54	✓	✓	✓			✓	✗
13	Integration in den vorhandenen Raum	✓	✓	✓			✓	
20	Zukauf von Normteilen	✓	✓	✓			✓	
21	Berücksichtigung der Maschinenrichtlinie	✓	✓	✓			✓	
22	Berücksichtigung aller geltenden Werksnormen	✓	✓	✓			✓	

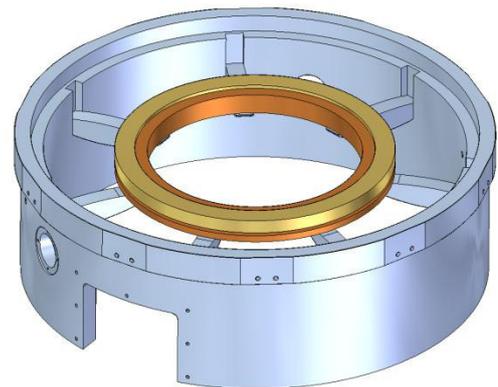
Um die bei der Überprüfung auf Einhaltung der Forderungen ausscheidenden Varianten nicht gänzlich unter den Tisch zu kehren, werden diese im Folgenden knapp beschrieben.



**Abbildung 17: LV IV Kniehebel**

schwer auf die Berechnung übertragen lassen. So ist beispielsweise mit einer Verformung des Gehäuses zu rechnen. Abbildung 17 zeigt den Entwurf im Schnitt, wobei zwecks Vereinfachung keine Schrauben dargestellt sind.

Bei Lösungsvariante V, die bereits die Durchbiegung nicht verhindern kann, war der Gedanke, die Rippen, die die Kraft nach außen, auf das Gehäuse, leiten sollen, so hoch wie möglich ansetzen zu lassen. Dadurch wurde sich die Möglichkeit, mit der Abbrechvorrichtung weiter wie bisher arbeiten zu können, erhofft. Der in Abbildung 18 dargestellte Entwurf lässt jedoch laut Berechnung eine Durchbiegung von  $>2,7\text{mm}$  zu.



**Abbildung 18: Lösungsvariante V**

Lösungsvariante VII, zu der es keinen Entwurf gibt, beschreibt die Abstützung der Matrize über die Mitte. Sämtliche Eigenschaften der Abbrech- und Ausräumeinheit könnten unversehrt zum Einsatz kommen. Die Schwerlastrollen, die unter der Matrize abrollen, übertragen ihre Kraft über das Axiallager. Da die auftretenden Kräfte jedoch deutlich zu groß sind, und das Lager nicht verändert werden kann, schließt sich diese Variante aus. Außerdem ist bei staubigem Betrieb mit erhöhten Abnutzungsbedingungen zu rechnen, was einen geforderten einwandfreien Betrieb bei IP 54 nicht zulässt.

Die durch römische Ziffern nummerierten Lösungsvarianten lassen sich durch den im Anhang dargestellten morphologischen Kasten mit Lösungspfaden nachvollziehen.

## 4 Erarbeitung der Lösungsvarianten

Durch die Überprüfung auf Einhaltung der Forderungen (Tabelle 8) sind aus den anfänglich sieben zur Verfügung stehenden Lösungsvarianten vier geworden. Diese werden im Folgenden beschrieben und durch die farbig markierten Pfade im morphologischen Kasten (s. Anhang) dargestellt.

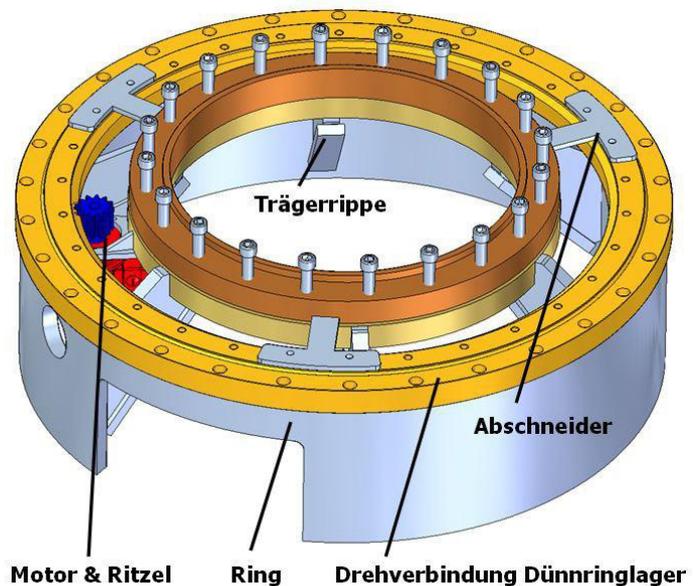
Die Funktionen „Außenaufnahme der Matrize“ sowie „Pellets ausräumen“ werden trotz der im morphologischen Kasten suggerierten Vielfalt bei allen Varianten einheitlich gestaltet. Das liegt daran, dass es sich bei der Konstruktion um eine Nachrüstung für mehrere bereits im Einsatz befindende Flachmatrizenpressen handelt. Die Randbedingungen können lediglich kleinen Modifizierungen unterzogen werden. So ist es von Firmenseite gewünscht.

So werden die Bleche der Austrageinrichtung gekürzt, um weiterhin ein reibungsloses Austragen zu gewährleisten. Auf die bisherige Lösung zum Abbrechen der Pellets kann ebenfalls in einigen Fällen verzichtet werden. Die Bohrungen im Innenring der Matrize, welche bisher der Befestigung des Matrizenverstärkungsringes gedient haben, fallen in einigen Varianten weg. Auf die Änderungen wird aber in den relevanten Einzelfällen eingegangen.

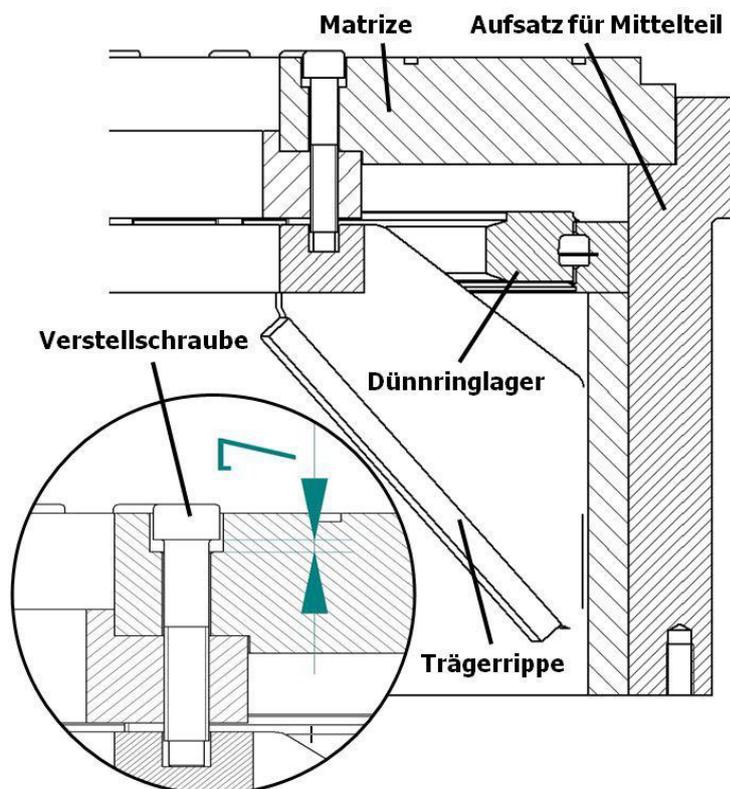
Der zwecks Übersichtlichkeit in den Anhang verwiesene morphologische Kasten stellt die Lösungsvarianten I-VII nach römischer Zählweise dar (Anhang Seite A-B).

## 4.1 Lösungsvariante 1

Die Lösungsvariante 1 ermöglicht es, die Matrize mit der Innenabstützung zu verschrauben. Die zwecks Übersichtlichkeit in Abbildung 19 nicht dargestellte Matrize wird durch die im Innenring angeordneten Bohrungen mit dem bronzefarbenen Ring verschraubt. In diesen Ring sind passende Gewinde geschnitten. Abbildung 20 zeigt die Innenaufnahme der Matrize im Schnitt. Der darunter liegende, goldfarbene Ring hat eine einfache Senkbohrung. Auf dem Boden dieser Bohrung drückt sich die Schraube ab. So kann die Einstellung der Höhe der Innenabstützung nach Montage der Matrize erfolgen. Durch Anziehen der Schrauben wird der bronzefarbene Ring von unten gegen die Matrize gedrückt. Die Kraft überträgt sich dann entlang der Schraube auf den goldenen Ring. Dieser ist an den Trägerrippen festgeschweißt. Die durch einen Steg verstärkten Trägerrippen wiederum sind mit dem „Ring“ verschweißt. Der Ring wird in den „Aufsatz fürs Mittelteil“ eingelassen und ist der Form dieses Aufsatzes nachempfunden.



**Abbildung 19: Lösungsvariante 1**



**Abbildung 20: LV 1 im Schnitt**

festgeschweißt. Die durch einen Steg verstärkten Trägerrippen wiederum sind mit dem „Ring“ verschweißt. Der Ring wird in den „Aufsatz fürs Mittelteil“ eingelassen und ist der Form dieses Aufsatzes nachempfunden.

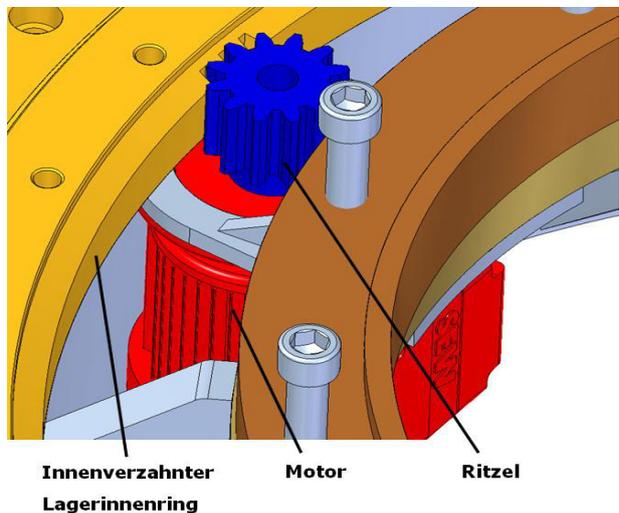
Bei den 20 Schrauben handelt es sich um M24 Schrauben. Diese sind am Schraubenende auf 20mm herunter gedreht. Bei einer statisch angenommenen Last ergibt das eine Druckbelastung am Ende der Schraube von  $118\text{MPa}$ . Selbst bei dynamischen Spitzenlasten von

$F = 2 \cdot 10^6 N^5$  liegt die Spannung unter der Streckgrenze des Werkstoffs S355<sup>6</sup>. In diesem Fall liegt die (Druck-)Spannung bei 318MPa.

Um fertigungstechnische Abweichungen auszugleichen ist, wie in Abbildung 20 zu sehen, ein Verstellweg von 7mm vorgesehen. Dieser Weg entspricht gleichzeitig der Verstellbegrenzung. Dieser Weg ist mehr als ausreichend und kann gegebenenfalls sogar noch gekürzt werden.

Die Konstruktion wird durch Herstellung eines Formschlusses gegen Verdrehen gesichert. Durch die Bohrungen in Gehäuse und „Ring“ wird ein Rohr gesteckt, welches außen durch einen Flansch verschraubt wird.

Das Abbrechen der Pellets nach KAHL-Standard ist aufgrund der Rippenform nicht möglich. Die bisher rotierenden Messer werden durch eine Alternativlösung ersetzt. Diese Alternativlösung besitzt einen eigenen Antrieb, und wird nicht über die Königswelle angetrieben. Über das sich der Form des Gehäuses anpassende Dünnringlager wird eine Rotationsbewegung erzeugt. Das Lager besitzt auf der Innenseite eine Verzahnung. Diese Verzahnung ist vereinfacht dargestellt und in Abbildung 21 an der Kontaktstelle zwischen Ritzel und Lager zu erahnen. Der Antrieb erfolgt über einen Elektromotor. Ohne zwischengeschaltetes Getriebe überträgt ein auf der Abtriebswelle befestigtes Ritzel das Drehmoment direkt auf das Dünnringlager.



**Abbildung 21: Antrieb Abbrechvorrichtung**

Die auf Diesem befestigten „Abschneider“ brechen dann die Pellets. Die Länge der Pellets lässt sich einstellen, indem die Abschneider mit Unterlegblechen montiert werden, die dann den Abstand zur unteren Seite der Matrize festlegen. Das eingesetzte Dünnringlager ist staubgeschützt und wird den IP 54 Anforderungen gerecht.

Die Ausräumerinheit kann weiterhin auf die bisherige Art und Weise nach KAHL-Standard rotieren. Die Bleche müssen lediglich um den Betrag der Wandstärke des „Ringes“ gekürzt werden.

Durch Vorgabe eines Drehmoments zum Anziehen der Schrauben ließe sich eine Vorspannung der Matrize realisieren, um beispielsweise der berechneten Durchbiegung entgegenzukommen.

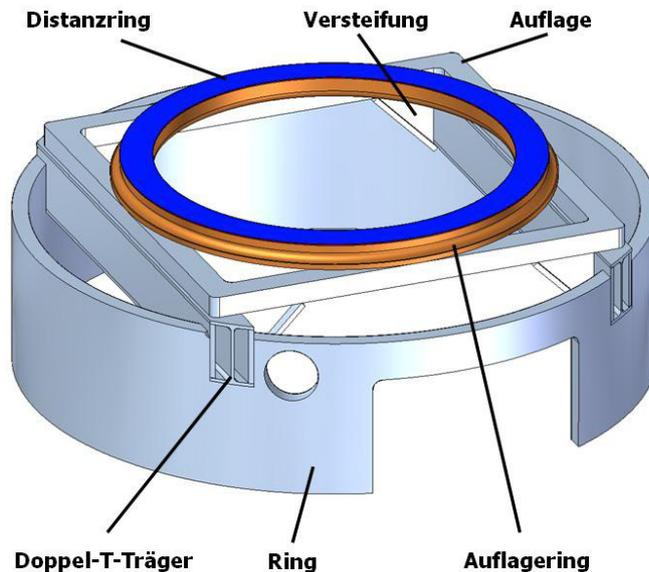
---

<sup>5</sup> Entspricht einer Kraft, die durch ein Gewicht von  $m = 200t$  hervorgerufen wird.

<sup>6</sup> Firmenintern entspricht der Baustahl S355 der Bezeichnung 1.0570;  $R_e = 355MPa$

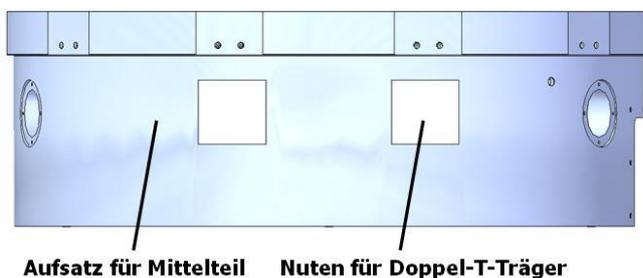
## 4.2 Lösungsvariante 2

Bei der Erarbeitung der Lösungsvariante 2 stand die Durchbiegung, und nicht das Aufrechterhalten der weiteren Funktionen im Mittelpunkt der Gedankengänge. Das hat ein Ergebnis hervorgebracht, welches ein sehr schlichtes Aussehen hat, ohne dieses einer Wertung zu unterziehen. Die Matrize wird nicht wie in Lösungsvariante 1 verschraubt, sondern liegt lediglich auf. Die Abstüt-



**Abbildung 22: Lösungsvariante 2**

zung findet über das Gehäuse statt. Zur Verhinderung der Durchbiegung sind zwei Doppel-T-Träger eingezogen. Für die Versteifung sind diese auf beiden Seiten zugeschweißt. Sie liegen beide auf in den Ring gefrästen Nuten auf. Verbunden sind die beiden Träger durch die „Auflage“ (s. Abbildung 22). Auch hier sind zwecks Versteifung Rippen eingeschweißt. Um möglichst viel Platz für die aus der Matrize austretenden Pellets zu bieten, ist auf der „Auflage“ der „Auflagering“ gesetzt. Für die Fixierung der Matrizenhöhe in der jeweiligen Einbaulage wird bei dieser Lösungsvariante mit Distanzringen gearbeitet. Das Abbrechen der Pellets erfolgt nach KAH-



**Abbildung 23: Alternative LV 2**

Standard. Unter den im Vergleich zu den übrigen Varianten hoch ansetzenden Doppel-T-Trägern ist noch Platz um die Pellets zu brechen. Allerdings muss die bisher existierende Variante zu diesem Zweck verändert und gekürzt werden. Der Abbruch der Pellets kann hierbei frühestens nach 200mm erfolgen. Verstellbar sind die Messer dann nach dem Prinzip Langloch. Ob das bei der Länge der Pellets noch Sinn macht, oder diese bereits vorher ohne weiteres Zutun abbrechen, ist

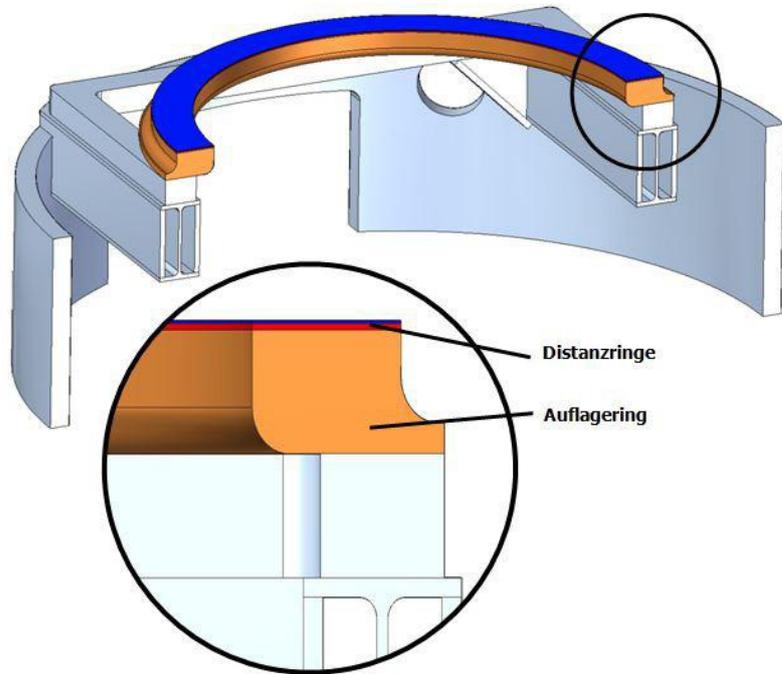
für die Aufgabenstellung zunächst nicht relevant. Die Ausräumeinheit bleibt mit kleinen Veränderungen erhalten. Genau wie bei Lösungsvariante 1 müssen die Rotationschieber um den Betrag der Wandstärke des „Ringes“ gekürzt werden. Der Antrieb findet dann über die Königswelle statt.

für die Aufgabenstellung zunächst nicht relevant.

Die Ausräumeinheit bleibt mit kleinen Veränderungen erhalten. Genau wie bei Lösungsvariante 1 müssen die Rotationschieber um den Betrag der Wandstärke des „Ringes“ gekürzt werden. Der Antrieb findet dann über die Königswelle statt.

dem „Aufsatz fürs Mittelteil“, selbst aufliegen würden (s. Abbildung 23). Dass diese Lösungsvariante wie jede andere Vor- und Nachteile mit sich bringt leuchtet ein. Die Vorgabe der Firma jedoch, die Randbedingungen, also die bereits bestehende Presse so wenig wie möglich zu verändern, führte zum Ausschluss dieses Ansatzes.

Die Höhenverstellung der Innenabstützung funktioniert durch die Auflage von Distanzringen. Die in Abbildung 24 blau und rot dargestellten Distanzringe werden entsprechend der Einbaulage der Matrize eingelegt. Auch durch diese Variante der Höhenanpassung ließe sich eine Vorspannung realisieren.



**Abbildung 24: Höhenverstellung LV 2 (im Schnitt)**

### 4.3 Lösungsvariante 3

Auch bei Lösungsvariante 3 bleibt es bei der Bedingung, die Außenaufnahme der Matrize und die Ausräumeinheit nicht zu verändern.

Bei dieser Variante ist die Form der Matrizenaufnahme innen durch bloßes Aufliegen realisiert. Die Abstützung erfolgt über den Boden des Gehäuses. Jede der sechs Trägerrippen ist mit dem Ring verschweißt (s. Abbildung 25). Dieser hat für den Pressenauslauf eine Öffnung, sodass die Pellets ungehindert die Presse verlassen können. Die Höhenverstellung bzw. die Anpassung der Innenabstützung an die jeweilige Einbaulage der

Matrize erfolgt über ein Gewinde. In die Innenseite des Gewinderings (s. Abbildung 26) ist ein Gewinde geschnitten. So wird von dem feststehenden Gewinding eine Verbindung zu dem vertikal verschiebbaren Matrizenaufnahme ring hergestellt. In diesen ist ebenfalls ein Gewinde geschnitten. Durch Drehen des Matrizenaufnahme rings lässt sich die Höhe der Innenabstützung einstellen. Nach Justierung der Höhe wird der Matrizenaufnahme ring gegen Verdrehen gesichert. Dies geschieht durch Bohrungen durch den Matrizenaufnahme ring. Ein Sichern gegen Verdrehen der gesamten Konstruktion ist ebenfalls gewährleistet. Zu diesem Zweck ist eine Verdrehsicherung vorgesehen (s. Abbildung 25), die durch Herstellung eines Formschlusses zum Pressengehäuse ein Mitdrehen der Innenabstützung ausschließt.

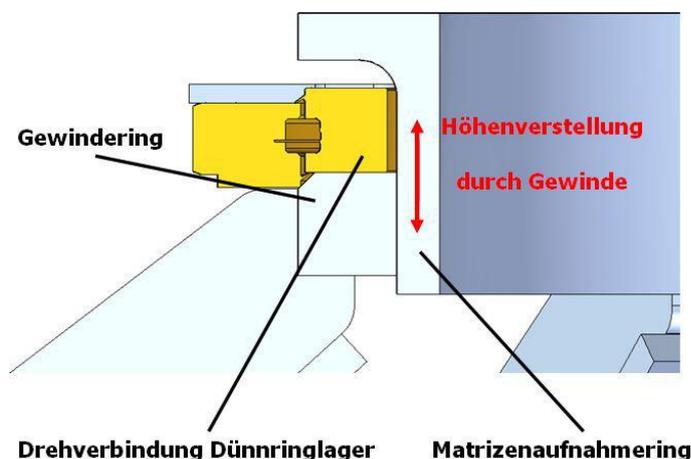


Abbildung 26: Schnitt LV 3 - Höhenverstellung

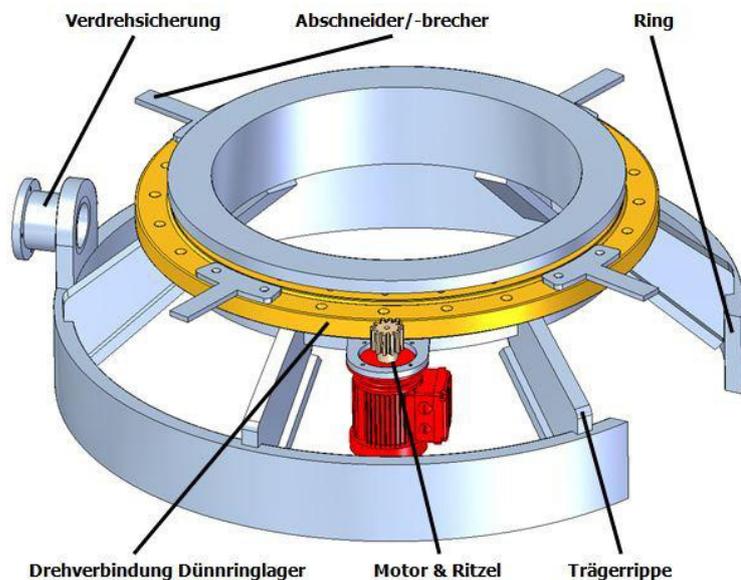


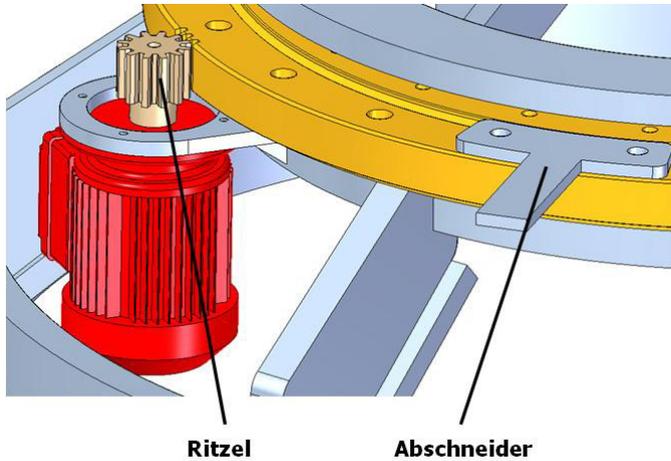
Abbildung 25: Lösungsvariante 3

häuse ein Mitdrehen der Innenabstützung ausschließt.

Der Kraftfluss richtet sich nach Aufnahme der Kraft durch den Matrizenaufnahme ring über das Gewinde auf den Gewinding. Dieser ist dann wiederum mit den Trägerrippen verschweißt, die die Kraft auf den Ring geben. Der auf dem Mittelteil aufliegende Ring leitet die

Kraft an das Gehäuse weiter.

Das Abbrechen der Pellets erfolgt über ein außenverzahntes, als Drehverbindung ausgeführtes, Dünnringlager. Der Innenring wird mit Schrauben am Gewinding befestigt, sodass der Außenring des Lagers frei drehbar ist. Angetrieben wird der Außenring des Lagers durch einen Elektro-



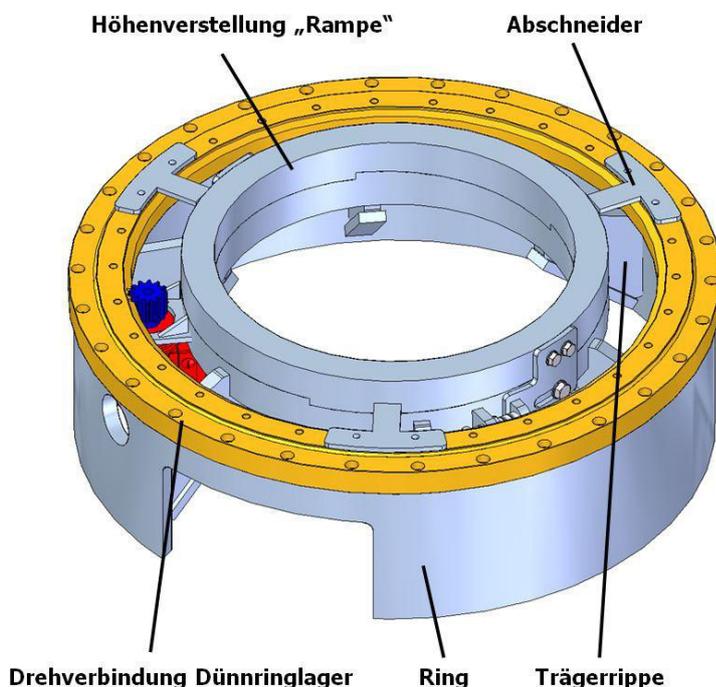
**Abbildung 27: Antrieb Abbrechvorrichtung**

motor. Dieser Motor treibt ohne zwischengeschaltetes Getriebe ein direkt auf der Abtriebswelle befindendes Ritzel an. Über dieses Ritzel erfolgt dann die Drehbewegung. Abbildung 27 zeigt einen Abschneider, der auf dem Außenring des Lagers befestigt ist. Die Verzahnung auf der Außenseite des Außenrings ist vereinfacht dargestellt und lässt sich an der Kontaktstelle zum Ritzel erahnen. Sowohl der Motor als auch das eingese-

etzte Dünnringlager wird den Anforderungen der IP54 Schutzart gerecht.

## 4.4 Lösungsvariante 4

Bei der vierten Lösungsvariante liegt die Matrize auf der Innenabstützung auf. Gestützt wird die Innenabstützung über das Gehäuse, in diesem Fall erneut über den „Aufsatz fürs Mittelteil“. Die Matrizenhöhe wird mittels einer Rampenfunktion fixiert.



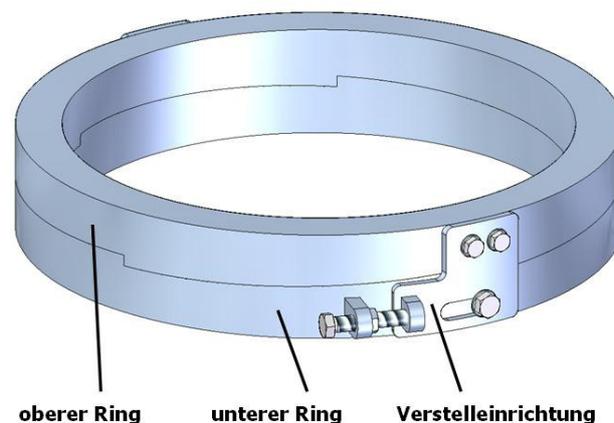
**Abbildung 28: Lösungsvariante 4**

Wie in Abbildung 28 zu sehen, ist das Prinzip des Abbrechens der Pellets dem Prinzip der Lösungsvariante 1 nachempfunden. Da die gleichen Kräfte wirken, ist auch derselbe Motor mit demselben Ritzel ausgewählt. Auf das als Drehverbindung ausgeführte Dünnringlager sind über den Umfang verteilt drei Bleche geschraubt, die zum Abbrechen der Pellets gedacht sind. Gegen das Verdrehen der gesamten Konstruktion wird die Öffnung zum Einstellen des Kollerkopfanschlages genutzt, durch die Formschluss hergestellt wird.

Die die Höhenverstellung „Rampe“ tragenden Trägerrippen sind mit dem Ring verschweißt, der als Ganzes in den Pressenraum eingehoben wird. Die Trägerrippen bestehen, wie auch schon bei den vorangegangenen Lösungsvarianten, aus einer Rippe und einem zur Verstärkung angeschweißten Steg. Um die Innenabstützung der jeweiligen Höhe anzupassen, ist die Konstruktion mit einer Rampe ausgestattet.

Durch Verstellen der Schraube an der in Abbildung 29 dargestellten Höhenverstellung verschiebt man den oberen gegenüber dem feststehenden, unteren Ring. Ist die gewünschte Höhe eingestellt, wird die das Langloch sichernde Schraube angezogen. Zur Erhöhung der Sicherheit beim Verstellen der Rampe und anschließendem Sichern gegen Verdrehen, ist um 180 Grad versetzt eine zweite, identische Verstelleinrichtung vorgesehen.

Die Höhenverstellung verschiebt man den oberen gegenüber dem feststehenden, unteren Ring. Ist die gewünschte Höhe eingestellt, wird die das Langloch sichernde Schraube angezogen. Zur Erhöhung der Sicherheit beim Verstellen der Rampe und anschließendem Sichern gegen Verdrehen, ist um 180 Grad versetzt eine zweite, identische Verstelleinrichtung vorgesehen.



**Abbildung 29: LV 4, Höhenverstellung "Rampe"**

## 4.5 Bewertungskriterien & Gewichtung

In diesem Kapitel werden die Bewertungskriterien erläutert, die in der Nutzwertanalyse Verwendung finden. Außerdem wird auf die Gewichtung eingegangen, und begründet, warum welches Kriterium welche Gewichtung erhält.

Grundsätzlich können für die Nutzwertanalyse alle Wünsche der Anforderungsliste zu Rate gezogen werden. Entgegen der Forderungsanalyse (vgl. Tabelle 8), bei der alle Forderungen der Anforderungsliste, und zwar ohne Abweichungen, Verwendung finden, dürfen nach Belieben Wünsche ergänzt oder weggelassen werden. So wurde in einer Arbeitsgruppe innerhalb der Konstruktion eine Liste mit Bewertungskriterien festgelegt.

**Tabelle 9: Bewertungskriterien & Gewichtung**

Laufend	Bewertungskriterium	Gewichtung
1	Verhindern der Durchbiegung	0,15
2	Einstellbarkeit der Pelletlänge	0,1
3	Grobeinstellung Höhe d. Abstützung	0,1
4	Feineinstellung (Vorspannung)	0,15
5	Demontage der Innenabstützung nach Abheben der Matrize	0,05
6	Demontageaufwand zum Nachstellen der Innenabstützung	0,1
7	Höhen- & Verdrehsicherung	0,1
8	Reparaturfreundliche Konstruktion	0,05
9	Eigenfertigung	0,05
10	Kosten	0,05
11	Demontagevorrichtung (Sicherheit beim Heben)	0,05
12	Wartungsaufwand	0,05
	$\Sigma$	1

Das Bewertungskriterium „Verhindern der Durchbiegung“ sieht vor, die Variante mit der geringsten Durchbiegung am besten zu bewerten. Durch die in Tabelle 8 (vgl. S. 38) festgelegte Forderung, dass die Durchbiegung < 0,3mm zu betragen hat, findet die Bewertung nur innerhalb des Wertebereichs  $0\text{mm} < \text{Durchbiegung [mm]} < 0,3\text{mm}$  statt. Weil die Durchbiegung als zentraler Bestandteil der Aufgabenstellung gilt, erhält das Bewertungskriterium 1 die Gewichtung von 15 %.

Die Einstellbarkeit der Pelletlänge ist mit 10 % gewichtet, da auch dieser Aspekt wichtig für nachfolgende Anlagenteile ist.

Die Einstellung der Höhe der Innenabstützung wird in Grob- und Feineinstellung unterglier-

dert. Da es sich bei der Durchbiegung um wenige Zehntel Millimeter handelt, ist jede Presse aufgrund der in der Fertigung auftretenden Toleranzen unterschiedlich bezüglich der Einbaulage der Matrize. Um sich der Unterseite der Matrize grob anzunähern ist die Grobeinstellung von Bedeutung (10 %). Um die letzten Zehntel einzustellen, die Feineinstellung. Da die letzten Zehntel Millimeter von hoher Bedeutung sind, ist diesem Kriterium eine höhere Bedeutung beigemessen, was sich in der Gewichtung von 15 % widerspiegelt.

Mit 5 % ist das Kriterium der Demontage der Innenabstützung gewichtet. Das meint, ob es beispielsweise möglich ist, die gesamte Konstruktion nach Demontage der Matrize zu entfernen, oder ob dazu weitere Arbeitsschritte notwendig sind.

Bewertungskriterium sechs sieht vor, jede Variante hinsichtlich des Aufwandes in Bezug auf die Demontage anderer Teile der maschinenbaulichen Peripherie zu bewerten. Muss aufgrund von Verschleiß die Innenabstützung nachjustiert werden, erhält eine Lösungsvariante, bei der dies ohne Demontage anderer Bauteile geschehen kann, eine hohe Bewertung. Mit zehn Prozent spiegelt sich ebenfalls eine vergleichsweise hohe Wichtigkeit wieder.

Damit bei laufendem Betrieb durch auftretende Vibrationen die Funktion der Innenabstützung weiter aufrecht erhalten bleibt, muss diese gegen Verstellen gesichert werden. Die Wichtigkeit ist hier wie beim vorangehenden Kriterium mit 10 % zu gewichten.

Die Bewertungskriterien fünf bis zwölf sind mit je 5 % gewichtet.

Das Erreichen einer hohen Fertigungstiefe, wie es gemäß der Unternehmensrichtlinie gewünscht ist, nimmt nicht denselben Stellenwert ein, wie es Kriterien tun, die unmittelbar an der Erfüllung der Gesamtfunktion beteiligt sind.

Einen geringen Reparaturaufwand im Schadensfall kann ebenfalls nicht die gleiche Bedeutung wie einer der funktionalen Kriterien beigemessen werden, ist aber dennoch nicht außer Acht zu lassen.

Die Kosten, die die Fertigung einer solchen Innenabstützung mit sich bringt sind in einem Industrieunternehmen immer wichtig. Hier stehen sie jedoch nicht an erster Stelle.

Damit Sicherheit beim Demontieren gewährleistet ist, sollte eine Demontagvorrichtung vorgesehen sein. Da die Möglichkeiten je nach Einsatzort unterschiedlich sind, ist dies nicht höher als mit 5 % zu gewichten.

Als letztes Bewertungskriterium steht der Wartungsaufwand. Wartungsarbeiten schließen generell den Pressenbetrieb aus. Jedoch sind regelmäßige Wartungszyklen eingeplant, in die sich auch die Wartung der Innenabstützung integrieren ließe.

## 4.6 Nutzwertanalyse

In diesem Abschnitt findet die Bewertung der in Kapitel 4.1 bis Kapitel 4.4 beschriebenen Lösungsvarianten statt. Die aus den anfänglich sieben zur Auswahl stehenden Varianten erfüllen sämtliche Forderungen, sodass es nun an die Bewertung nach eben beschriebenen Kriterien und Gewichtungen gehen kann.

**Tabelle 10: Bewertungsskala**

### Wertskala

### Nutzwertanalyse

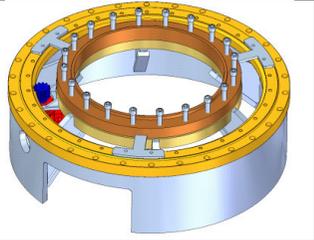
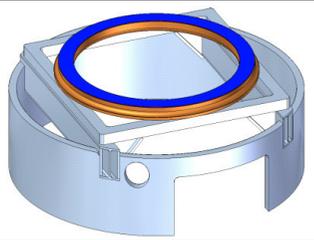
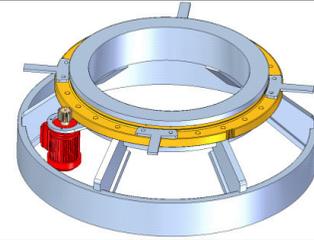
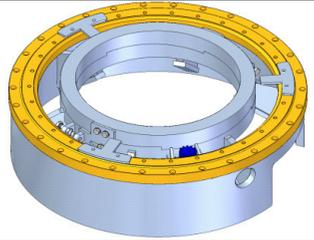
Pkt.	Bedeutung
0	absolut unbrauchbare Lösung
1	sehr mangelhafte Lösung
2	schwache Lösung
3	tragbare Lösung
4	ausreichende Lösung
5	befriedigende Lösung
6	gute Lösung mit geringen Mängeln
7	gute Lösung
8	sehr gute Lösung
9	über die Zielvorstellung hinaus gehende Lösung
10	Ideallösung

Um die Bedeutung der einzelnen Punktzahlen in Erinnerung zu rufen, ist nebenstehend die Wertskala (Tabelle 10) abgebildet.

In dieser Arbeit erfolgt die Bewertung nach den Maßstäben der Nutzwertanalyse. Zu den auf der folgenden Seite abgedruckten Werten der Nutzwertanalyse wird eingegangen, um bestimmte Unterschiede bei der Bewertung einzelner Lösungsvarianten zu erläutern.

Die Durchführung der Nutzwertanalyse fand in einer Kleingruppe statt, sodass der eigentliche Sinn einer solchen Bewertung nicht verfehlt wird.

**Tabelle 11: Nutzwertanalyse**

Lfd.	Bewertungskriterium	Gewichtung	Variante 1			Variante 2			Variante 3			Variante 4		
			Eigenschaftsgröße	Wert	Gew. Wert	Eigenschaftsgröße	Wert	Gew. Wert	Eigenschaftsgröße	Wert	Gew. Wert	Eigenschaftsgröße	Wert	Gew. Wert
														
24	Verhindern der Durchbiegung	15	0,26mm	6	90	0,19mm	9	135	0,21mm	8	120	0,28mm	5	75
5	Einstellbarkeit der Pelletlänge	10	nein (Anzahl variabel)	9	90	nein	2	20	nein (Anzahl variabel)	9	90	nein (Anzahl variabel)	9	90
6	Grobeinstellung Höhe d. Abstützung	10	ja, Schrauben	8	80	ja, Distanzringe	9	90	ja, Gewinde	8	80	nein, Fertigungsgen.	5	50
7	Feineinstellung (Vorspannung)	15	ja, Schrauben	9	135	nein	1	15	ja, Gewinde	9	135	ja, Rampenfunktion	8	120
12	Demontage der Innenabstützung nach Abheben der Matrize	5	ja, nach Entfernen der Verdrehsicherung	8	40	ja, nach Entfernen der Verdrehsicherung	8	40	ja, nach Entfernen der Verdrehsicherung	8	40	ja, nach Entfernen der Verdrehsicherung	8	40
14	Demontageaufwand zum Nachstellen der Inneabstützung	10	Kollerkopf abheben	6	60	Matrize abheben	5	50	Matrize abheben / durch Pelletaustausch	5	50	Matrize abheben	5	50
15	Höhen- & Verdrehsicherung	10	Schrauben	9	90	kein Verdrehen mögl.	9	90	verkeilende Schraube	9	90	Verstellblech	9	90
18	Reparaturfreundliche Konstruktion	5	viele Teile	8	40	mittelviele Teile	7	35	viele Teile	8	40	mittelviele Teile	7	35
19	Eigenfertigung	5	Zukauf/Dreh/Boh/La	7	35	Drehen/Fräsen/Schweiß	8	40	Zukauf/Drehen/Laser	7	35	komplex Fräsen	5	25
23	Kosten	5	Zukauf/simpel Fertig.	7	35	aufwändige Fertigung	6	30	Zukauf/sehr simple Fe.	8	40	Zukauf/sehr komplex	3	15
16	Demontage (Sicherheit)	5	Dreipunkt-Heben	8	40	Dreipunkt-Heben	8	40	Dreipunkt-Heben	8	40	Dreipunkt-Heben	8	40
17	Wartungsaufwand	5	Getriebestufe	5	25	Distanzringe	7	35	Getriebestufe	5	25	Getriebestufe	5	25
		Σ 100			760			620			785			655

In Bezug auf das erste Bewertungskriterium, der Durchbiegung, schneidet die Variante 2, bei der die Innenaufnahme auf zwei verstärkten Doppel-T-Trägern stützt, am besten ab. Folgen tut Variante 3, gefolgt von 1 & 4.

Die Einstellbarkeit der Pelletlänge ist bei Variante 2 nur bedingt möglich. Wie bereits bei der Vorstellung der Variante erwähnt, haben die Pellets eine Mindestlänge von 200mm. Darunter rotieren die Abscheider nach bisher bekanntem Prinzip. Eine Einstellung der Länge 205mm wäre beispielsweise denkbar. Da jedoch zu erwarten ist, dass die Pellets vorher brechen, ist die Lösung als „schwach“ mit dem Wert 2 einzustufen. Die übrigen Varianten, bei denen das Abbrechen der Pellets auf dem gleichen Prinzip beruht, erhalten den Wert 9. Durch die Anzahl der Messer, die auf das Dünnringlager geschraubt werden, lässt sich die Pelletlänge variieren. Zudem ist durch die Möglichkeit, Unterlegbleche zu montieren zusätzlich eine Höhenverstellung gegeben. Somit lässt sich ohne großen Aufwand sehr simpel die Länge der Pellets einstellen.

Die Grob- und die Feineinstellung der Innenabstützung ist nötig, da bei der Vielzahl an Pressen und den gegebenen Toleranzketten fertigungsbedingte Unterschiede auftreten.

Für die Grobeinstellung schneidet Variante 2 am besten ab. Durch das Auflegen der Distanzringe ist eine grobe Verstellung der Höhe schnell vorgenommen. Bei den übrigen Varianten geht die Grobeinstellung mit der Feineinstellung einher. Der Aufwand variiert jedoch. Während bei Variante 1 20 Schrauben angezogen werden müssen, muss bei Variante 3 nur ein Gewinde gedreht werden. Allerdings lässt sich durch die Vorgabe eines Drehmoments bei Variante 1 leichter eine Vorspannung realisieren, als bei den übrigen Varianten. Dort muss dann erst nachgemessen werden. Die Feineinstellung bei der Lösungsvariante 2 hingegen ist schlecht möglich. Durch die Fertigung bedingte Grenzen sind hier gesetzt. Es kann beispielsweise mit einem 0,5 mm dicken Ring kein Spalt von einem Zehntel Millimeter behoben werden. Überhaupt bewegen wir uns bei der Durchbiegung der Matrize in einem zu engen Toleranzbereich. Deswegen erfolgt eine schlechte Bewertung für LV 2.

Ob und mit welchem Arbeitsaufwand die Innenabstützung nach Demontage der Matrize entfernt werden kann, beurteilt das folgende Kriterium. Ist beispielsweise die Innenabstützung mit dem Aufsatz fürs Mittelteil verschweißt, stellt es einen größeren Aufwand da, die Innenabstützung zu entfernen, als es der Fall bei einer Lösung ist, bei der die gesamte Konstruktion angehoben werden kann. Da alle vier Varianten auf die gleiche Art realisiert sind, erhalten alle eine sehr gute Bewertung mit acht Punkten. Es muss nach Abheben der Matrize lediglich die Verdrehsicherung demontiert werden.

Für den Fall, dass die Innenabstützung der Matrize nachjustiert werden muss, ist der Aufwand bewertet. Einzig Lösungsvariante 1 hat hier mit sechs Punkten (gute Lösung mit geringen Mängeln) einen leichten Vorsprung gegenüber den übrigen Varianten. Das Justieren kann bei montierter Matrize über das Anziehen der Schrauben erfolgen. Da bei den Varianten 2-4 die Matrize demontiert werden muss, um eine nachträgliche Höhenverstellung zu ermöglichen, erhalten diese die Bewertung „befriedigend“.

Aufgrund der im Betrieb vorherrschenden Bedingungen kann es dazu kommen, dass eine verstellbare Abstützung vom Soll-Zustand abweicht. Außerdem ist durch die auf der Matrize abrollenden Koller die Gefahr gegeben, dass aufgrund der teilweise mitdrehenden Matrize auch die Innenabstützung rotieren könnte. Aus diesem Grund ist eine Höhen- und Verdrehsicherung notwendig. Das gleichnamige Bewertungskriterium beurteilt, wie diese Anforderung bei den einzelnen Lösungen umgesetzt ist. Alle vier Varianten sind gegen Verdrehen gesichert und verhindern durch konstruktive Maßnahmen eine Änderung der Höhe. Aus diesem Grund erhalten alle Lösungsvarianten den Wert 9.

Ob es sich bei der jeweiligen Variante um eine reparaturfreundliche Konstruktion handelt, bewertet das folgende Kriterium. Im Betrieb kommt es unter Umständen zu Schäden, die durch versehentlich in die Maschine geratene Teile ausgelöst sind. Wenn als Folge eines solchen Vorkommnisses die Matrize bricht und Teile der Innenabstützung beschädigt werden, ist es wichtig, nicht gleich die gesamte Konstruktion austauschen zu müssen, sondern lediglich ein paar Teile. Deshalb wird die Anzahl der Teile gezählt und in ein Verhältnis gesetzt. So schneiden die Lösungsvariante 2 und 4 mit sieben Punkten (gute Lösung) um einen Punkt schlechter ab, als die Varianten 1 und 3 (sehr gute Lösung).

Der Punkt „Eigenfertigung“ berücksichtigt die unternehmensinterne Richtlinie, eine möglichst hohe Fertigungstiefe zu haben. Konstruktionen, bei denen ein höherer Anteil an selbst zu fertigenden Teilen im Verhältnis zu den Übrigen besteht, schneiden besser ab. Die relativ schwierig zu fertigende Rampenfunktion von LV 4 verursacht eine Fremdvergabe und ist daher mit 5 Punkten bewertet. Bei den übrigen Lösungsvarianten kann bis auf wenige Zukaufteile alles selbst gefertigt werden. Lediglich LV 2 sticht etwas hervor und erhält daher die Bewertung „sehr gut“. LV 1 und 3 erhalten eine „gute“ Bewertung.

Die Kosten sind bei allen vier Varianten lediglich ins Verhältnis zueinander gesetzt. Auf Basis der zu fertigenden Teile und der zur Umsetzung nötigen Bearbeitungsschritte schneidet LV 4 aufgrund der aufwändig zu fertigenden Rampenfunktion am schlechtesten ab (3 Punkte). Lösungsvariante 2 hat aufgrund der verstärkten Doppel-T-Träger viele Schweißnähte, des Weiteren müssen Teile gefräst, gedreht und gelasert werden. Daher erhält diese LV die Bewertung „gute Lö-

sung mit geringen Mängeln“. Die geringen Kosten der Zukaufteile von LV 1 und 3 unterscheiden sich lediglich darin, dass die Teile für LV 3 kleinere Ausmaße annehmen. Die Bearbeitungsschritte, die durchgeführt werden müssen, nehmen durch die zu bohrenden Teile bei Variante 1 etwas mehr Zeit in Anspruch, sodass LV 1 mit der Bewertung „gut“ um einen Punkt schlechter bewertet wird als LV 3 (sehr gut).

Muss aufgrund eines Schadens in der maschinenbaulichen Peripherie die Innenabstützung demontiert werden, wird über das Bewertungskriterium „Demontage (Sicherheit)“ die Sicherheit sowie die Demontagefreundlichkeit bewertet. Für alle vier Lösungsvarianten ist durch Bohrungen für Ringschrauben ein Heben über diese Art vorgesehen. Über den Umfang verteilt in einem Winkel von je 120° zueinander sind so drei Bohrungen angeordnet. Die Ketten können erst über der Königswelle an einem Punkt zusammenkommen, und sind somit verhältnismäßig lang. Dennoch ist für alle Varianten die Bewertung mit acht Punkten (sehr gut) durchgeführt.

Der Wartungsaufwand für die Lösungsvarianten 1,3 und 4 ist aufgrund der im Pressenraum liegenden Getriebestufe mit „befriedigend“ bewertet. Dem verzahnten Dünnringlager steht ein Ritzel aus Kunststoff (PA12G) gegenüber. Dadurch ist der Verschleiß am Dünnringlager minimiert und der Verschleiß wird sich größtenteils am Ritzel bemerkbar machen. Dieses, wenig kostenintensive Ritzel, kann schnell ausgetauscht werden. Die Dichtungsausführung des Dünnringlagers ist laut Hersteller als „IP54-tauglich“ beschrieben.

Für Lösungsvariante 2 bedarf es keiner zusätzlichen Wartungsmaßnahmen. Lediglich der Verschleiß der Distanzringe muss durch Sichtprüfung bewertet werden. Die Bewertung fällt daher um zwei Punkte besser (7) als bei den übrigen Varianten aus.

Nach Addition der gewichteten Werte ist Variante 3 die zu bevorzugende Variante. Mit 78,5 Prozent schneidet sie am besten ab und wird für die Umsetzung vorgeschlagen.

**Tabelle 12: Übersicht der Bewertung**

Platzierung	Lösungs- variante	Punktezahl in Prozent
1	3	78,5
2	1	76
3	4	65,5
4	2	62

## 4.7 Detailliertes Ausführen von Lösungsvariante 3

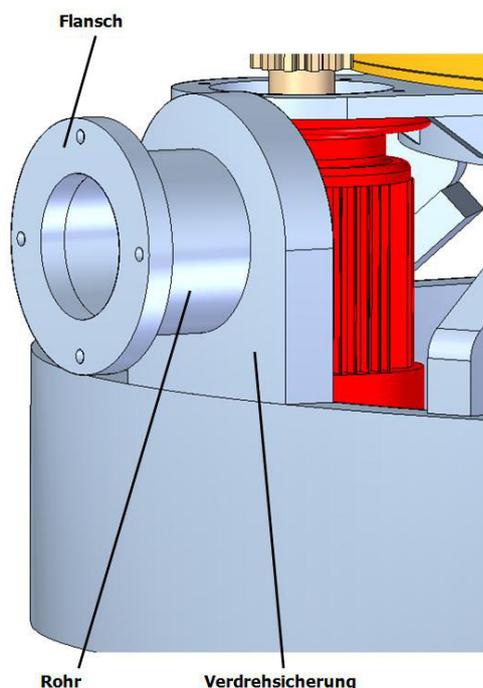
In diesem Kapitel soll die ausgewählte Lösung detailliert vorgestellt werden.

Dadurch, dass eine bestehende Presse einige (Rand-)Bedingungen vorgibt, sind konstruktive Grenzen bei der Gestaltung gesetzt.

So sind die in der Funktionsanalyse aufgegliederten Einzelfunktionen nicht alle neu zu erfinden, sondern an die bestehende Umgebung anzupassen. Die Matrize war bislang mit einem Teilkreis für Bohrungen an dem Innenring ausgestattet. Diese dienten der Befestigung des Matrizen-Verstärkungsring, der die Durchbiegung der Matrize als zusätzliche Versteifung minimieren sollte.

Da die gemessenen Werte für die Durchbiegung mit Matrizen-Verstärkungsring deutlich werden ließen, dass weitere konstruktive Maßnahmen erforderlich sind, ist diese Arbeit zur Ermittlung der günstigsten Lösung vergeben worden.

Lösungsvariante 3 sieht vor, die Matrize aufliegen zu lassen und sie nicht zu verschrauben. Aus diesem Grund wird eine Matrize ohne Bohrungen für den Matrizenverstärkungsring benötigt. Die Matrize wird dann wie bisher durch das Gehäuse an der Außenseite geklemmt. Die Innenabstützung muss separat gegen Verdrehen gesichert werden. Zu diesem Zweck ist die Verdrehsicherung vorgesehen (vgl. Abbildung 30).



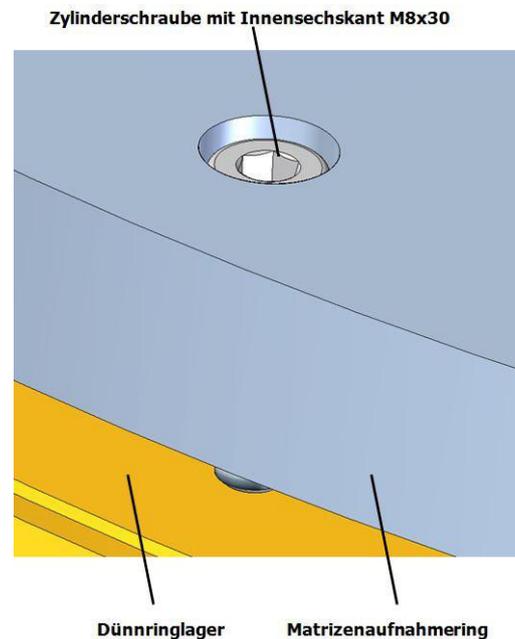
Die Lasche der Verdrehsicherung wird am Ring verschweißt. Nach Montage der Innenabstützung wird nun von außen, durch die für die Verstellung des Kollerkopfanschlages vorgesehene Bohrung hindurch, das Rohr mit Flansch gesteckt. Dieser wird außen mit dem Gehäuse verschraubt.

Sollte es aufgrund der herrschenden Betriebsbedingungen zu dem Fall kommen, dass die Matrize mitdreht und dabei die Innenabstützung mitreißen will, blockiert das Rohr aufgrund des Formschlusses mit der Verdrehsicherung und schließt ein Mitdrehen der Innenabstützung aus.

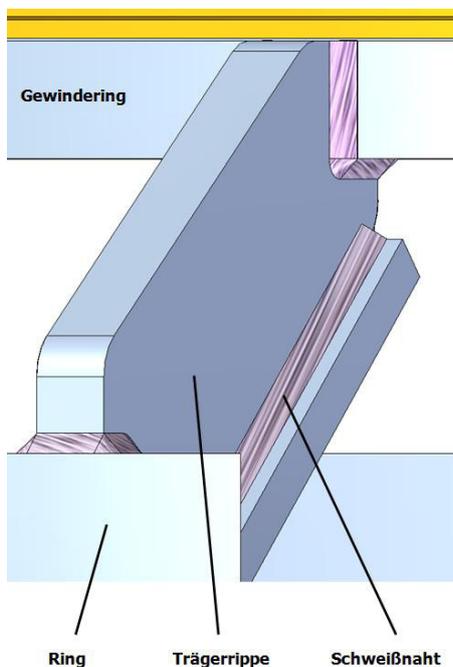
**Abbildung 30: Sicherung gegen Verdrehen**

Falls die Matrize dennoch auf der gegen Verdrehen gesicherten Innenabstützung kurzzeitig mitdreht, kann es dazu kommen, dass sich die an der Innenabstützung eingestellte Höhe verändert.

Aufgrund von Reibung und Vibrationen könnte die Innenabstützung den Kontakt zur Matrize verlieren und so ihren eigentlichen Zweck verfehlen. Aufgrund dieser Gefahr sind durch den Matrizenauflahmering vier im Winkel zu je 90 Grad versetzte Löcher gebohrt, in die ein Gewinde (M8) geschnitten ist und eine Stufenbohrung, die den Schraubenkopf verschwinden lässt, damit die Matrize plan aufliegen kann. Diese Schrauben drücken nach dem Anziehen auf den in der nebenstehenden Abbildung 31 gelb dargestellte Innenring des Dünnringlagers. Da bei dem mit einem Gewinde ausgestatteten Matrizenauflahmering eine Rotation auch gleichzeitig eine Höhenverstellung bedeuten würde, verhindern die Schrauben diese Möglichkeit, indem sie angezogen werden und eine klemmende Wirkung hervorrufen.



**Abbildung 31: Sicherung gegen Höhenverstellung**



**Abbildung 32: Trägerrippe, geschweißt**

Über Trägerrippen ist die Innenabstützung gehalten. Diese Trägerrippen werden außen mit dem Ring und innen, am oberen Ende, mit dem Gewinding verschweißt.

Die Schweißnaht wurde als Kehlnaht ausgelegt. Über die Formeln (6) und (8) lässt sich somit das a-Maß bestimmen.

$$a_{min} = \sqrt{t_{max}} - 0,5 \quad (6)$$

Um den Fertigungsprozess so einfach wie möglich zu gestalten, empfiehlt es sich zu prüfen, ob die Nähte als einlagige Schweißnähte auszuführen sind. Das bedeutet, dass der Schweißer nach dem Heften mit einer Schweißnaht das Werkstück fügen kann, ohne durch Ausschleifen der Naht eine weitere Lage vorzubereiten. Das erspart viel Zeit und minimiert das Risiko für Schweißfehler. Wird also die für die

Schweißnähte dickste Bauteilstärke eingesetzt, ergibt sich das minimale Maß, welches die Bauteile noch verbindet.

$$a_{min} = \sqrt{50mm} - 0,5 = 6,5 mm \quad (7)$$

Nimmt man die maximal als einlagig schweißbare Nahtdicke von 8mm an, liegt eine ausreichende Sicherheit vor. Damit die maximale Nahtdicke nicht überschritten wird, wird auch diese rechnerisch überprüft

$$a_{max} = 0,7 \cdot t_{min} \quad (8)$$

Eingesetzt in Formel 8 ergibt sich

$$a_{max} = 0,7 \cdot 20mm = 14 mm \quad (9)$$

Das gewählte a-Maß ist mit 8mm also zulässig

$$a_{min} = 6,5 mm \leq 8 mm \leq a_{max} = 14 mm \quad (10)$$

Das Brechen der Pellets erfolgt nach dem Prinzip „metallischer Schlag“. Diesbezüglich ändert sich gegenüber der bisher bekannten Methode nichts, jedoch ist die Abbrecheinheit des gewählten Lösungsprinzips extern angetrieben. An Stelle des Antriebs über eine formschlüssige Passfeder-Verbindung zur Königswelle ist ein Elektromotor in den Pressenraum integriert.

Zur Auslegung des Motors wurden in Absprache mit Mitarbeitern des Technikums sowie Kollegen aus der Konstruktion Annahmen getroffen:

Die zum Brechen eines Pellets benötigte Kraft:

$$F_{benötigt} = m \cdot g \quad (11)$$

Basierend auf Messwerten der Härte von Holzpellets wurde festgelegt, dass eine Kraft, die durch eine 0,05kg schwere Masse verursacht wird, reicht, um einen frisch aus der Matrize austretenden Pellet zu brechen.

$$F_{benötigt} = 0,05kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \approx 0,5N \quad (12)$$

Da ein Abbrecher aber Pellets über die gesamte Breite der Kollerbahn erfasst, wird die Kraft mit der Anzahl der Bohrungen multipliziert. Dazu wird das Bohrbild der Matrize betrachtet (vgl. Abbildung 33).

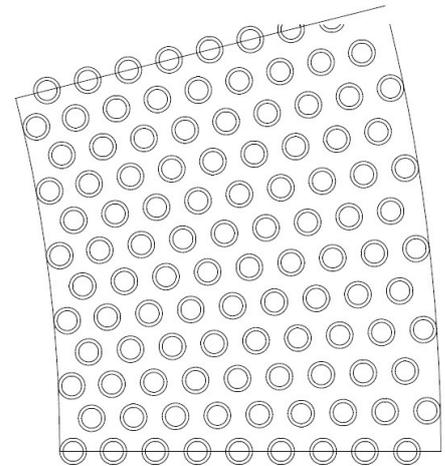
Verbindet man die Bohrungen durch ihren Mittelpunkt, erkennt man gut, dass die dann entstehenden Geraden auf den Mittelpunkt der Matrize zielen.

So liegen immer neun Bohrungen auf einer Linie. Dieselbe Anzahl erfasst auch ein Abbrecher.

Nimmt man die Zahl der Abbrecher mit vier an, ergibt das eine Anzahl an gleichzeitig zu brechenden Pellets von 36.

Diese Anzahl multipliziert mit der zum Brechen eines Pellets benötigten Kraft ergibt

Senkung : 3  
 Radien : 18  
 TVK : 280  
 Lochzahl: 2520  
 Bezeichnung: 1250 - 8 - 11.4 KB114 - 1:10 , 20 Tief ?



**Abbildung 33: Bohrbild Matrize**

$$F_{ges,benötigt} = 36 \cdot 0,5 N = 18 N \quad (13)$$

Das daraus resultierende Moment ergibt sich zu

$$M_{benötigt} = F_{ges,benötigt} \cdot r = 18 N \cdot \frac{1180 \cdot 10^{-3}}{2} m = 10,62 Nm \quad (14)$$

Für die Auslegung des Motors spielt außerdem das Übersetzungsverhältnis eine Rolle, welches durch das außenverzahnte Dünnringlager und dem auf der Abtriebswelle des Motors befestigten Ritzel entsteht. Mit der Zähnezahl des Dünnringlagers  $z_2 = 222 \text{ Zähne}$  und dem Modul  $m = 4 \text{ mm}$  kommt ein aus Kunststoff (PA12G) ausgeführtes Ritzel mit einer Zähnezahl von  $z_1 = 12 \text{ Zähne}$  in Frage. Die Übersetzung ergibt sich zu

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{222 \text{ Zähne}}{12 \text{ Zähne}} = 18,5 \quad (15)$$

Um ohne ein zwischengeschaltetes Getriebe auf eine Drehzahl im Bereich der Königswellendrehzahl zu gelangen, wird ein sechspoliger Motor gewählt.

Die Motordrehzahl von  $n = 900 \text{ min}^{-1}$  reduziert sich zu

$$n_2 = \frac{n_{Motor}}{i} = \frac{900 \text{ min}^{-1}}{18,5} = 48,6 \text{ min}^{-1} \quad (16)$$

Mit der angegebenen Motorleistung von  $P = 90 \text{ W} = 0,09 \text{ kW}$  lässt sich das übertragbare Moment ausrechnen

$$M = 9550 \cdot \frac{P}{n} = 9550 \cdot \frac{0,09 \text{ kW}}{900 \text{ min}^{-1}} = 0,955 \text{ Nm} \quad (17)$$

Durch die Übersetzung der Getriebestufe erhöht sich das Moment zu

$$M_{ges} = i \cdot M = 18,5 \cdot 0,955 \text{ Nm} = 17,66 \text{ Nm} \quad (18)$$

Das ergibt eine Sicherheit von

$$S = \frac{M_{ges}}{M_{benötigt}} = \frac{17,66 \text{ Nm}}{10,62 \text{ Nm}} = 1,66 \quad (19)$$

Sollte die Anzahl der Abbrecher auf drei verringert werden und mittels Unterlegblechen der Abstand zur Unterseite der gewünschten Pelletlänge angeglichen werden, kann der Motor ebenfalls eingesetzt werden. Die zum Brechen der Pellets benötigte Kraft würde dann um 25% sinken, die Sicherheit des eingesetzten Motors steigen.

Ein Einsatz mit fünf Abbrechern kann nicht empfohlen werden, da der Motor aufgrund des geringen, zur Verfügung stehenden Platzes mit nicht zu hohem Sicherheitsfaktor ausgelegt worden ist.

Die Durchbiegung der gesamten Konstruktion wurde mittels des CAD integrierten FEM-Tools berechnet. Das der Software Solid Edge (ST5) zu Grunde liegende Programm vernetzt die gesamte Konstruktion nach Eingabe der Randbedingungen.

Als Randbedingung wurde ein das Gehäuse simulierender Ring in die Konstruktion modelliert. Dieser Ring wurde „fixiert“. In weiteren Schritten mussten alle durch eine Schweißnaht verbundenen Teile manuell „verbunden“ werden. Damit teilt man der Software mit, dass beispielsweise bei Betrachtung der Trägerrippe, der Steg fest mit der Rippe verbunden ist.

Die auf die Matrize einwirkende Kraft resultiert aus dem aufgebrauchten Hydraulikdruck in der Hydraulikmutter. Der Betriebsdruck liegt bei 180 bar. Um diesem Wert eine Kraft zuzuordnen, ist die Fläche der Hydraulikmutter einzubeziehen.

Die wirksame Fläche der Hydraulikmutter ist eine Kreisringfläche. Diese hat die Außendurchmesser  $d_a = 430 \text{ mm}$  und einen Innendurchmesser  $d_i = 270 \text{ mm}$ . Die Fläche ergibt sich zu

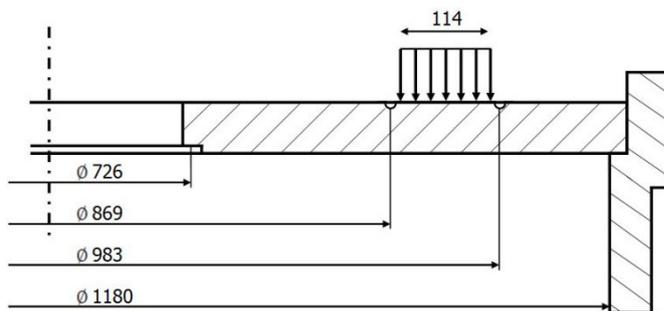
$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (d_a^2 - d_i^2) = 87964,6 \text{ mm}^2 \quad (20)$$

Die aus dem Druck von 180bar resultierende Kraft ergibt sich somit zu

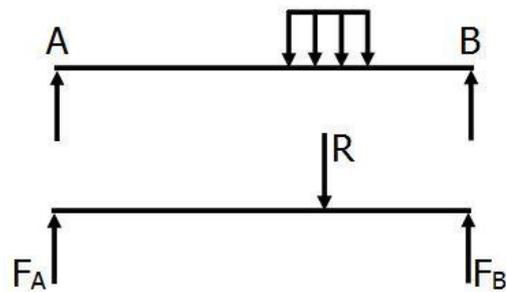
$$F = p \cdot A = 18 \text{ MPa} \cdot 87964,6 \text{ mm}^2 = 1583,4 \text{ kN} \quad (21)$$

Diese Kraft bewirkt in etwa das, was ein Gewicht der Masse von rund 160t an Wirkung hervorruft.

Wie sich die Kraft zwischen Innen- und Außenaufnahme der Matrize aufteilt, klärt folgende Betrachtung.



**Abbildung 34: Matrize im Schnitt**



**Abbildung 35: Balkentheorie**

Zur Annahme der Kräfteverteilung wird in Abbildung 34 die Matrize im Schnitt betrachtet. Die mit der Flächenlast belastete Kollerbahn der Breite 114 Millimeter hat einen etwas geringeren Abstand zur Außenaufnahme als zu der Stelle, an der sie von innen abgestützt werden soll. Die in Abbildung 35 als Resultierende dargestellte Kraft verteilt sich auf die beiden Auflageflächen in den Punkten A und B.

Bestimmt man die Summe aller Momente um den Punkt A ( $\sum M_A$ ) ergibt sich das Verhältnis der aufzunehmenden Kräfte  $F_A$  zu  $F_B$

$$\sum M_A: F_B \cdot 227 = R \cdot 128,5 \quad (22)$$

$$F_B = \frac{128,5}{227} \cdot R = 0,566 \cdot R \quad (23)$$

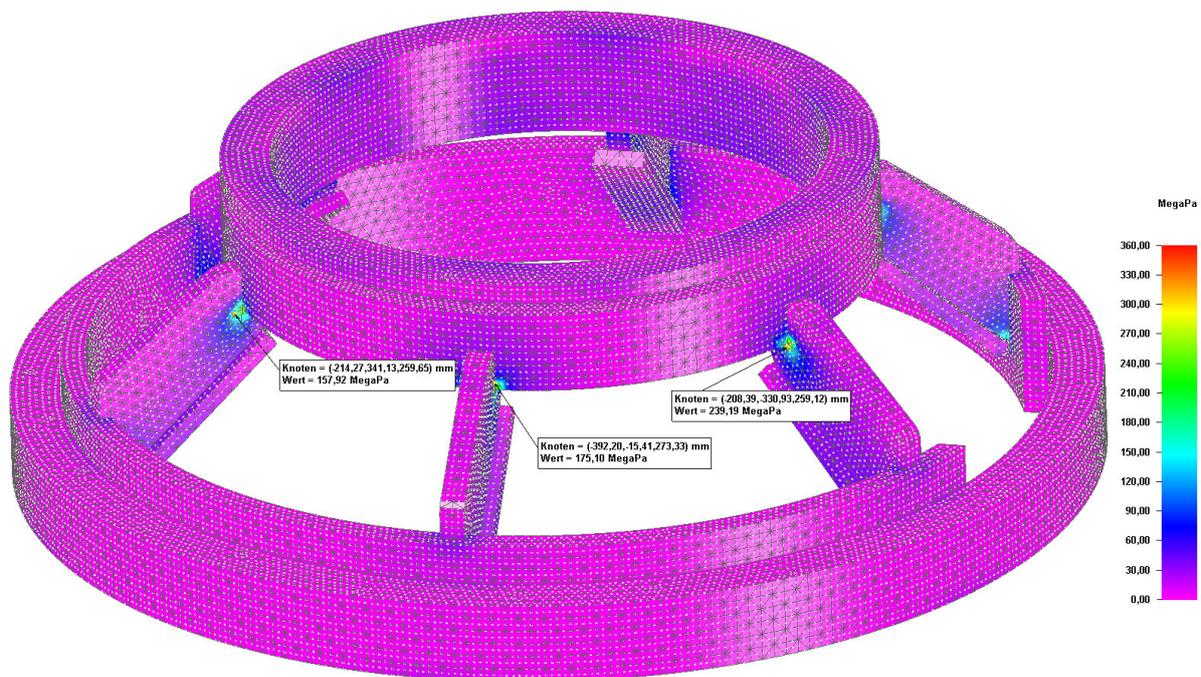
Resultierend aus der eingangs erklärten Annahme für die Presskraft ergibt sich die für die Innenabstützung relevante Kraft  $F_A$  zu

$$F_A = 687,2 \text{ kN} \quad (24)$$

Berechnungen zu Folge, bei denen die Innenabstützung im eingebauten Zustand betrachtet wurde, ist der tatsächlich auf die Innenabstützung anfallende Anteil geringer. Das zeigte sich an den im Vergleich zur nachfolgenden Berechnungen deutlich geringer ausfallenden Werten für Spannungen und Verschiebungen.

Da das Berechnungsnetz bei solch komplexen Ausmaßen jedoch stark an Feinheit einbüßt, sind diese Berechnungen zu einem gewissen Maße ungenau. Um die Ergebnisse der Berechnung als repräsentativ betrachten zu können, wird im Berechnungsmodell also mit einer Kraft von knapp 700kN gerechnet. Diese Kraft wird als Flächenlast aufgebracht.

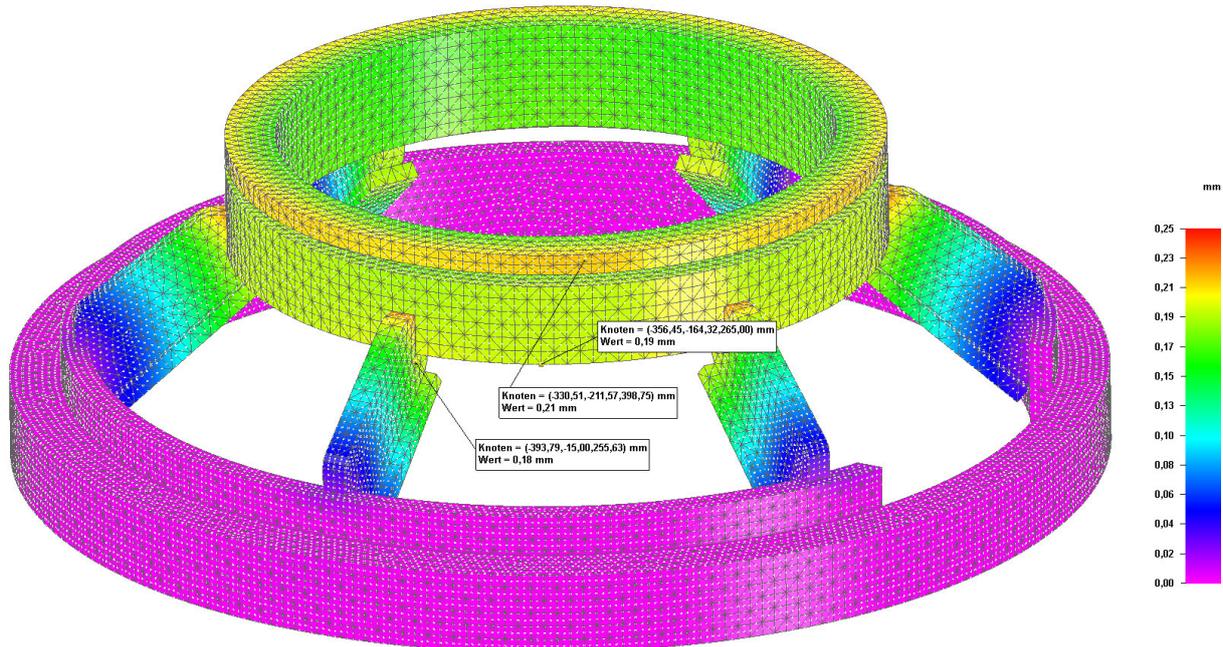
Die Abbrechvorrichtung mit Motor und Ritzel wird zwecks Vereinfachung des Berechnungsmodells nicht dargestellt. Sie hat im Vergleich zu den auftretenden Belastungen nahezu keinen Einfluss. Die Vernetzung dieser Teile wäre zu umständlich, was letzten Endes Ergebnisse geringerer Genauigkeit zur Folge hätte. Im Nachfolgenden sind Bilder der Berechnung dargestellt, die Werte für Spannungen und Verschiebungen der belasteten Konstruktion farblich darstellen.



**Abbildung 36: Darstellung der berechneten Spannungen**

Die obenstehende Abbildung zeigt die im Werkstoff herrschenden Spannungen an. Farblich kann man die Werte der rechts im Bild abgebildeten Skala entnehmen. Die Spannungen an markanten Knoten sind jedoch zusätzlich angezeigt und mit Werten hinterlegt. Die maximal auftretende Spannung liegt im Bereich der Kontaktstelle zwischen „Trägerrippe“ und dem „Gewinding“. Dieser Wert liegt jedoch noch unter der Streckgrenze für das in der Berechnung ausgewählte Material 1.0570 (Baustahl S355;  $R_e = 355\text{MPa}$ ).

Die Verschiebung, welche als zentraler und wichtigster Bestandteil der Arbeit gilt, ist in den folgenden Abbildungen dargestellt.



**Abbildung 37: Darstellung der berechneten Verschiebungen**

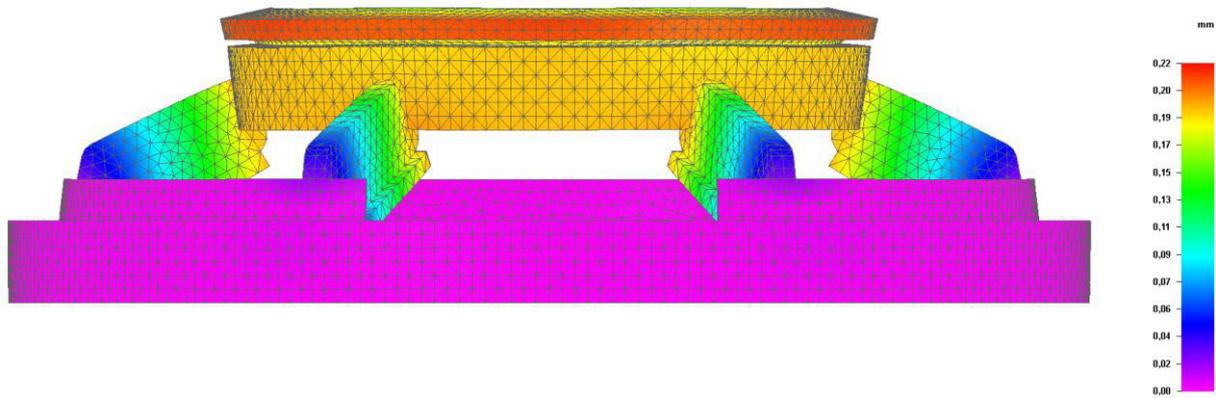
Der Höchstwert der Verschiebungen liegt ebenfalls an der Kontaktstelle zwischen „Trägerrippe“ und „Gewinding“. Eine hohe Verschiebung zeigt sich auch an der Auflagefläche des Matrizen-aufnahmerings. Da im Falle einer Durchbiegung allerdings kein Kontakt mehr zwischen Matrize und absenkender Fläche besteht, würde der Kraftfluss direkt über das Gewinde fließen. Weil die Durchbiegungen an den anderen, in Abbildung 37 dargestellten, Stellen jedoch ähnliche Ausmaße annehmen, muss dieses Ergebnis nicht als numerischer Fehler interpretiert werden.

Da eine Durchbiegung von 0,2 Millimetern in der gegebenen Ansicht nicht ersichtlich ist, lässt sich mit Hilfe der Berechnungs-Software vom Normalwert abweichende Darstellung realisieren. Diese erhöht die auftretenden Durchbiegungen um einen gewünschten Prozentsatz.

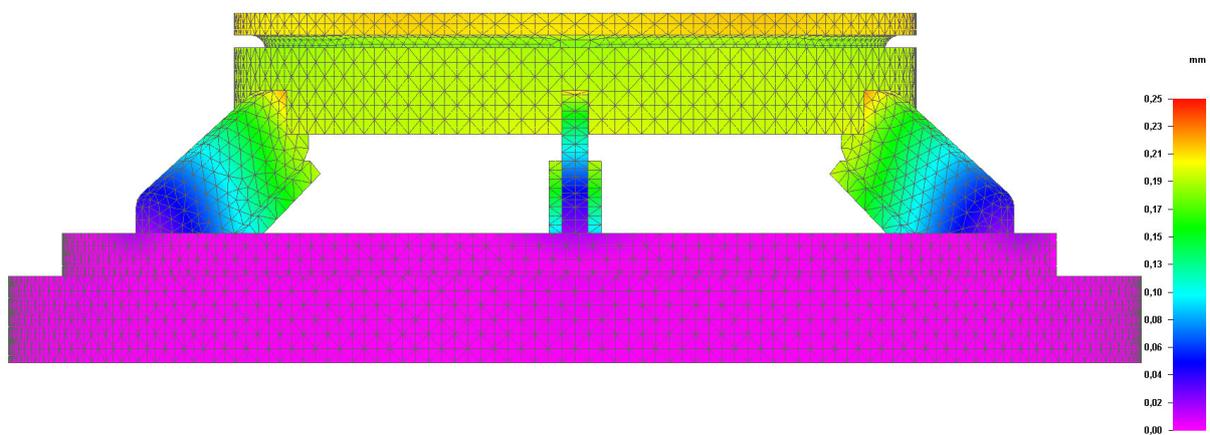
Nachfolgend sind zunächst die Ergebnisse der Berechnung in Tabelle 13 dargestellt.

**Tabelle 13: Berechnete minimale und maximale Werte für Spannung und Verschiebung**

	minimal	maximal
<b>Spannung</b>	0	239,19 MPa
<b>Verschiebung</b>	0	0,21 mm



**Abbildung 38: Seitenansicht; erhöhte Werte**



**Abbildung 39: Seitenansicht tatsächliche Durchbiegung**

In den oben stehenden Abbildungen ist die gleiche Ansicht dargestellt. In der oberen Abbildung 38 ist die Verformung mit erhöhten, anschaulicheren Werten dargestellt. Zu beachten bei der Interpretation der Ergebnisse sind die Skalen. Diese sind manuell einstellbar, sodass ein rot dargestellter Knotenpunkt im Modell nicht zwingend eine Überschreitung des zulässigen Werts bedeutet. In diesem Fall liegen alle Werte, sowohl für Spannung als auch für die Durchbiegung, im ertragbaren Bereich. Die Durchbiegung unterschreitet den zulässigen Wert sogar um ein Zehntel Millimeter.

Die im Bereich der Trägerrippen erhöhten Spannungswerte sind nicht als numerischer Fehler zu werten. Somit ist es in Betracht zu ziehen, den Werkstoff der Trägerrippen zu ändern. Eine erhöhte Streckgrenze  $R_e$  von 395MPa bei dem Werkstoff S460M (1.8827) bietet sich an. Dieser Werkstoff ist besonders für hochbelastete und geschweißte Teile zu empfehlen. Der Rest der Konstruktion kann ohne Bedenken aus Baustahl S355 (1.0570) gefertigt werden.

## 5 Zusammenfassung & Ausblick

Beim Kunden „Enviva“ kommt es während des Pelletierprozesses von Holz zu Problemen. Dokumentierte Schadensfälle und Messungen belegen, dass die Ursache der auftretenden Probleme in der Durchbiegung der Matrize begründet liegt. Auf Basis dieser Erkenntnisse gilt es, eine Lösung für die auftretenden Probleme zu schaffen.

Die bisherigen Lösungsansätze genügen den hohen Anforderungen einer solchen Lösung jedoch nicht, sodass weiterhin mit erhöhtem Verschleiß, geringerem Durchsatz sowie Materialbruch gerechnet werden muss.

Im Rahmen der vorliegenden Bachelorarbeit wurde eine Matrizen-Innenabstützung für eine vorhandene Flachmatrizenpresse entwickelt und konstruiert. Dabei passt sich die Konstruktion den Randbedingungen der vorhandenen Presse an, und kommt der Forderung nach, bei den vorhandenen Pressen einfach nachrüstbar zu sein.

Durch eine Funktionsanalyse wurde die Aufgabe abstrahiert um sich von dem bisher bekannten Wissen zu lösen. Mit dem Aufstellen einer Anforderungsliste in einem Team von Mitarbeitern der Konstruktion wurde auf Basis von Berechnungen und Messungen festgelegt, welche Funktionen gefordert und welche Funktionen gewünscht sind. Der anschließend entstandene morphologische Kasten bot dabei für jede der Teilfunktionen eine Teillösung auf. Durch Erstellen von Lösungspfaden wurden Teillösungen definiert. Diese wurden anschließend gemäß den Regeln des methodischen Konstruierens und der Nutzwertanalyse hinsichtlich der Forderungen und weiterer Kriterien bewertet. Die am besten abschneidende Lösung wurde detailliert beschrieben und anhand von Berechnungen belegt, dass Forderungen und Wünsche erfüllt werden.

Die durch Versuche und Performance Tests gewonnenen Kenntnisse weisen darauf hin, dass eine Abbrecheinheit beim Kunden zurzeit nicht erforderlich ist. Sie wurde daher im Rahmen dieser Arbeit nur bearbeitet, um die generelle Machbarkeit im Zusammenhang mit der Innenabstützung nachzuweisen. Eine Variante ohne Abbrecheinheit ließe sich für geringere Kosten und mit geringerem Aufwand durchführen. Diesbezüglich ist die Entscheidung der Geschäftsleitung abzuwarten.

Für die nahe Zukunft gilt es einen Prototyp zu fertigen mit dem die berechneten Ergebnisse auch tatsächlich erreicht werden. Die Durchführung der Versuche nimmt im weiteren Konstruktionsprozess einen hohen Stellenwert ein.

Den Berechnungen zu Folge lässt die Innenabstützung eine Durchbiegung von 0,21 mm zu. Die somit um 60% geringere Durchbiegung als bei dem bisher eingesetzten Matrizen-Verstärkungsring gilt es nun zu testen.

Die Entscheidung über die tatsächliche Auswahl an Werkstoffen hat höchste Priorität für den weiteren Konstruktionsprozess.

## 6 Literaturverzeichnis

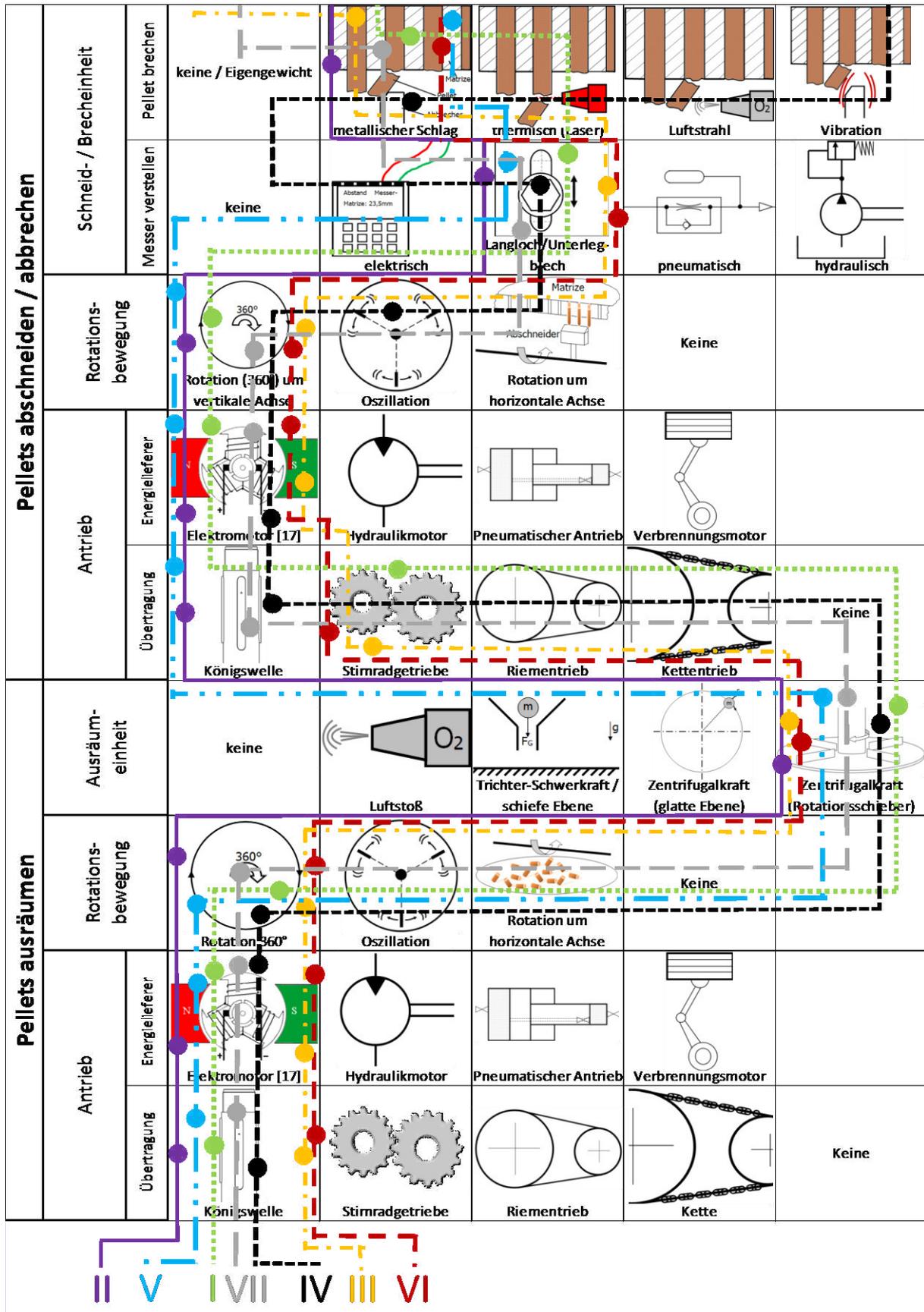
- [1] Amandus Kahl GmbH & Co. KG – Homepage. <http://www.akahl.de> – Zugriff am 21.05.2013
- [2] Die Bundesregierung: „Verwertung und Entsorgung von Altreifen in Deutschland“ unter <http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/16/107/1610738.pdf>; Seite 2 und 3 - Zugriff am 21.05.2013
- [3] Hanse Biotech Verwaltungsgesellschaft mbH: "Gummi /Altreifen – Details" unter [http://www.hanse-bioenergie.de/index.php?option=com\\_content&view=article&id=117-&Itemid=227](http://www.hanse-bioenergie.de/index.php?option=com_content&view=article&id=117-&Itemid=227) – Zugriff am 21.05.2013
- [4] Anna Katharina Sievers: „Deutschland größter Pelletproduzent in Europa“ unter [http://www.bioenergie.de/index.php?option=com\\_content&view=article&id=887:deutschland-groesster-pelletproduzent-in-europa&catid=14:branchennews&Itemid=27](http://www.bioenergie.de/index.php?option=com_content&view=article&id=887:deutschland-groesster-pelletproduzent-in-europa&catid=14:branchennews&Itemid=27) –Zugriff am 21.05.2013
- [5] Verein deutscher Ingenieure: VDI 2222: Konstruktionsmethodik Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien Blatt 1, Düsseldorf Juni 1997, Seite 2 – 27
- [6] Univ.-Prof. Dr. Feldhusen, Jörg (10/2012): Konstruktionslehre 1 –Anforderungsermittlung, Skript RWTH Aachen University, Seite 8
- [7] Prof. Dr. Ing. Hoder, Hilmar: Methodisches Konstruieren (Marktorientierte Produktentwicklung), 8.Auflage (Herbst 2011), Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg, Teile 1-4
- [8] Pahl, Gerhard; Beitz, Wolfgang: Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung, 4. neubearbeitete Auflage, Springer DE 1997. – ISBN 3-540-61974-7
- [9] Verein deutscher Ingenieure VDI 2225 – Teil 3: Konstruktionsmethodik Technisch-wirtschaftliches Konstruieren; Technisch-wirtschaftliche Bewertung Blatt 3, Düsseldorf 1998, Seite 2-7
- [10] Univ.-Prof. Dr. Feldhusen, Jörg (01/2013): Konstruktionslehre 1 –Bewerten von Lösungen, Skript RWTH Aachen University, Seite 42
- [11] Amandus Kahl GmbH & Co. KG: BLUE BOOK, Fassung vom Dezember 2003, Kapitel 15, Seiten 187-198.

- [12] Dipl.-Ing. Andreas Schönherr (10/2007): Methodisches Konstruieren, [http://www.mp.-haw-haburg.de/pers/Schoenherr/Dokumente\\_MeKon/Methodisches\\_Konstruieren\\_Skript-\\_3.pdf](http://www.mp.-haw-haburg.de/pers/Schoenherr/Dokumente_MeKon/Methodisches_Konstruieren_Skript-_3.pdf) -Zugriff am 07.06.2013
- [13] Dr.-Ing J. Rückert, „Korrosionsverhalten von Metallen in Verbindung mit Holz“, 1986 Verlag GmbH & Co. KGaA Weinheim, Seiten 336-337  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/maco.19860370611/abstract>
- [14] <http://www.iat-zerspanungstechnik.de/uploads/pics/dimensionen.jpg>, Zugriff am 25. Juni 2013
- [15] [http://mb-s1.upb.de/E-MechLAB/Verbundwerkstoff-Mechanik/Produkt/Gestaltung/Kraft-einleitung/\\_images/schraube.png](http://mb-s1.upb.de/E-MechLAB/Verbundwerkstoff-Mechanik/Produkt/Gestaltung/Kraft-einleitung/_images/schraube.png), Zugriff am 18. Juni 2013
- [16] <http://www.mitcalc.cz/doc/welding/help/pic/FilletWeldLength.gif>, Zugriff am 18. Juni 2013
- [17] [www.leifiphysik.de/themenbereiche/kraft-auf-stromleiter-e-motor/lb/kraft-auf-stromleiter-e-motor-zusatzaufgaben](http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/kraft-auf-stromleiter-e-motor/lb/kraft-auf-stromleiter-e-motor-zusatzaufgaben), Zugriff am 20.Juni 2013
- [18] Dr. Sitzmann, Werner: Pelletierung als Voraussetzung für die energetische Nutzung von Nebenprodukten der Holzverarbeitenden Industrie, Amandus Kahl GmbH & Co. KG; 2004.
- [19] Dr. Sitzmann, Werner: Pellets statt Pulver- Feststoff-Veredelung durch Pressgranulation mit Flachmatrizenpressen, CHEMIE TECHNIK, 30. Jahrgang, Nr.3

# 7 Anhang

## Morphologischer Kasten (mit Lösungspfaden)

Ebene			Teillösungen				
1	2	3	1	2	3	4	5
<b>Matrize</b>							
	Form der Matrizen-aufnahme						
	Matrize zentrieren						
	Sicherung gegen Verdrehen						
	Form der Matrizen-aufnahme						
	Abstützungsart						
<b>Innenaufnahme der Matrize</b>	Form der Matrizen-aufnahme						
	Abstützungsart						
	Matrizenhöhe fixieren						
Befestigung der Abstützung am stationären Teil							

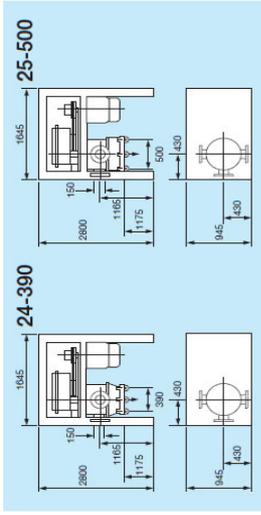


# Übersicht Flachmatrizenpressen

Flachmatrizenpressen  
für unterschiedlichste Einsatzbereiche



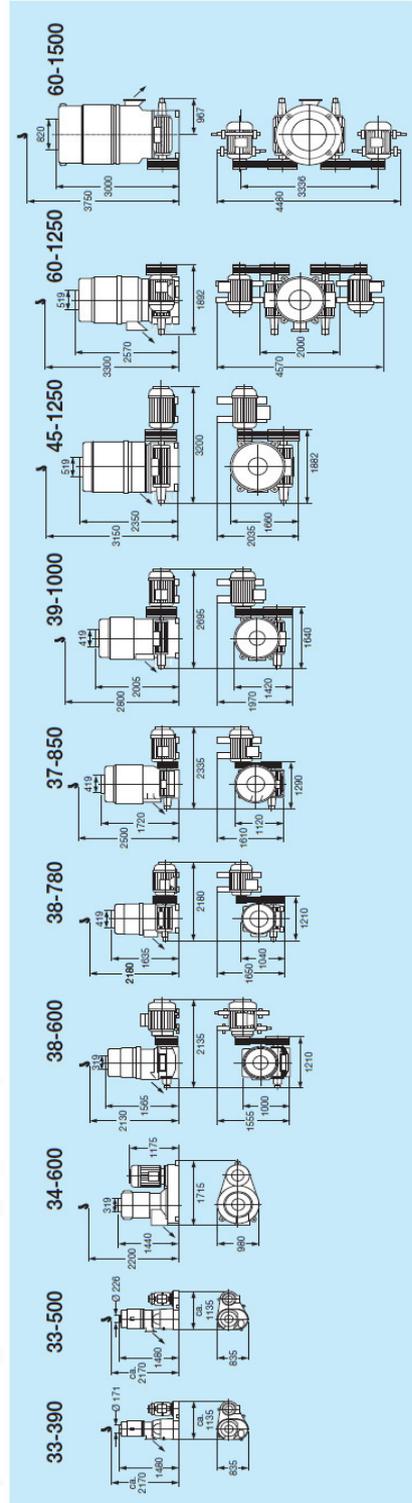
14-175		Pressen für die Produktion kleiner Mengen		Pressen zum Verarbeiten pastöser Materialien	
Type	14-175	Type	24-390	Type	25-500
Matrizenmesser mm	175	Matrizenmesser mm	390	Matrizenmesser mm	500
Kollerdurchmesser/-breite mm	130/29	Kollerdurchmesser/-breite mm	230/77	Kollerdurchmesser/-breite mm	230/77
Kollernzahl	2	Kollernzahl	2	Kollernzahl	3
Antriebsmotor kW/min <sup>1</sup>	3	Antriebsmotor kW/min <sup>1</sup>	30	Antriebsmotor kW/min <sup>1</sup>	30
Kollergeschwindigkeit m/s	0,5-0,8	Kollergeschwindigkeit m/s	1,65	Kollergeschwindigkeit m/s	1,72
Matrizenlochfläche cm <sup>2</sup>	106	Matrizenlochfläche cm <sup>2</sup>	617	Matrizenlochfläche cm <sup>2</sup>	840
Maschinengewicht kg mit Motor	260	Maschinengewicht kg mit Motor	1800	Maschinengewicht kg mit Motor	1950



### Pressen für die Produktion mittlerer und großer Mengen

Type	33-390	33-500	34-600	38-600	38-780	37-850	39-1000	45-1250	60-1250	60-1500
Matrizenmesser mm	390	500	600	600	780	850	1000	1250	1250	1500
Kollerdurchmesser/-breite mm	230/77	230/77	280/102	280/102	280/102 oder 350/102	350/132	350/156 oder 450/156	450/192 oder 450/156	450/192	450/242
Kollernzahl	2	3	3-4	3-4	3-5 oder 3-4	3-5	3-5 oder 3-4	4-5	4-5	4-5
Antriebsmotor kW/min <sup>1</sup>	15-30/1500*	15-30/1500*	45-55/750	55-75/1500*	90-110/1500*	132/1500*	160-200/1500*	200-315/1500*	2 x 160-200/1500*	2 x 200-250/1500*
Kollergeschwindigkeit m/s	2,2	2,4	2,7	2,6	2,6	2,5	2,6	2,7	2,6	2,67
Matrizenlochfläche cm <sup>2</sup>	617	840	1382	1382	1916	2695	3850	5900	5900	8769
Maschinengewicht kg	1150	1300	2330	2250	3000	4600	5400	8000	9600	12800

Die angegebenen Maße sind auf den jeweils größten lieferbaren Antriebsmotor bezogen. Angaben über Aufstellmöglichkeiten und Abmessung der Speiseeinrichtungen finden Sie auf Seite 4. \*andere Drehzahlen möglich.

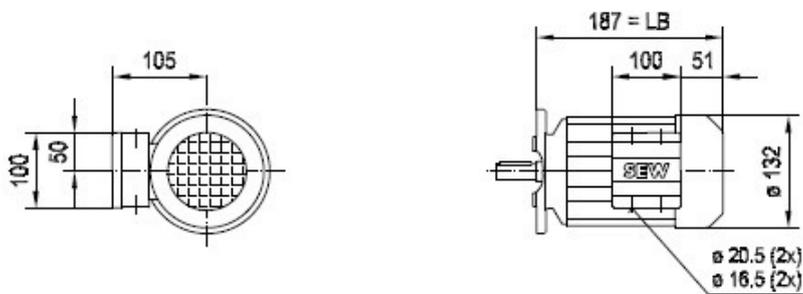


**Drehstrom-Getriebemotor**

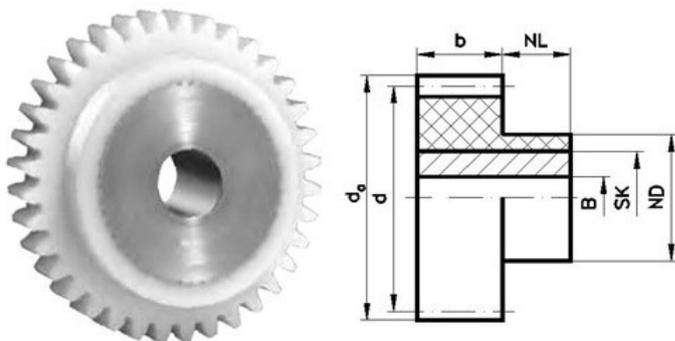
**DFR63S6**

Motorenndrehzahl	[1/min] : 900
Bauform-Eingabe	: B5
Klemmkastenlage	[°] : 0
Kabeleinführung/Steckerlage	: X
Abtriebswelle	[mm] : 11x23
Flanschdurchmesser	[mm] : 140 (IEC)
Motorleistung	[kW] : 0,09
Einschaltdauer	: S1-100%
CE-Zeichen	: ja
Motorspannung	[V] : 230/400
Schaltbild	: DT13
Frequenz	[Hz] : 50
Nennstrom	[A] : 0,86 / 0,38
Cos Phi	: 0,64
Wärmeklasse	: B
Motorschutzart	: IP54
Nettogewicht	[Kg] : 6

**DFR63**



**Stirnzahnrad Kunststoff PA 12 G mit Edelstahlkern, Modul 4**



**Werkstoff:**

Außenteil: Kunststoff PA 12 G.  
Stahlkern: Edelstahl 1.4305.

Verzahnungsqualität 8e25 DIN 3967.  
Temperaturbereich -60° C bis +120° C , kurzzeitig 150° C.

- Spezieller Kunststoff mit sehr guten Werkstoffeigenschaften.
- Ermöglicht passgenaue, hochfeste Welle-Nabe-Verbindung.
- Optimale Kräfteinleitung durch zylindrische Verbindungsfläche.
- Leicht, leise und sauber, mit guten Notlaufeigenschaften.

Zähnezahl	b [mm]	d <sub>a</sub> [mm]	d [mm]	NL [mm]	ND [mm]	SK [mm]	B <sup>H7</sup> [mm]	zul. MD* [Nm]	Gewicht [g]
12	40	56,0	48,0	20	35	25	10	8,1	256

## Drehverbindungen

Typ LDL

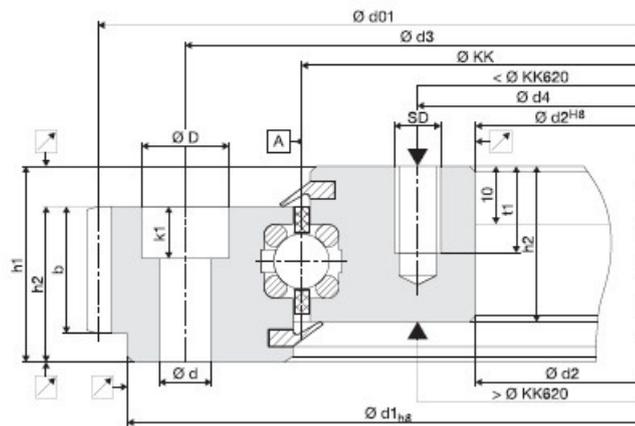
Stahlausführung  
mit Außenverzahnung

### LDL Außenverzahnung

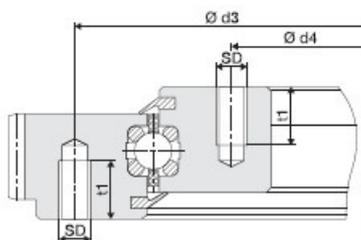
Ø KK mm	Abmessungen mm									
	D	d	h1	h2	b	k1	s	SD	t1	
100- 220	11	6,6	30	24	19	6,8	15,0	M 6	10	
240- 280	15	9,0	34	27	22	9,0	17,5	M 8	15	
300- 380	15	9,0	38	31	26	9,0	19,5	M 8	15	
400- 480	18	11,0	44	37	32	11,0	22,5	M10	15	
500- 600	20	14,0	49	42	35	13,0	25,0	M12	20	
620- 780	20	14,0	53	45	38	13,0	29,0	M12	20	
800-1500	26	18,0	60	52	45	17,5	33,0	M16	25	

Drehverbindungen

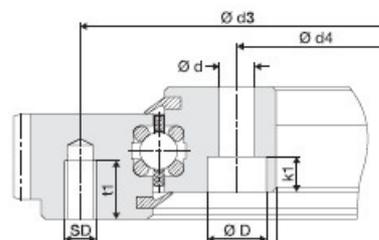
### Bohrbild A



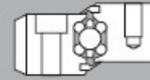
### Bohrbild B



### Bohrbild C



Werkstoffe						
	Innen-/ Außenring	Kugellaufringe	Wälzkörper	Käfig	Dichtung	Verzahnung
<b>Standard</b>	C45N 42CrMo4V	54SiCr6	100Cr6	PA12	NBR	DIN 3967 Qualität 8e25 Bezugsprofil DIN 867
<b>Sonder</b>	Niro X5CrNi18.10 Messing CuSn12 Kunststoffe Magnesium Beschichtungen	Niro X12CrNi177 Niro X7CrNi177 Duratherm Beschichtung: Corrotect ATC	Niro X45Cr13 POM Keramik Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Keramik Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	Niro Bronze Hart- gewebe Messing Teflon	Viton Teflon Labyrinth Metallabdicht.	andere Ver- zahnungen auf Anfrage



Ø KK mm	Modul m	Abmessungen mm		Zähnezahl Z	zuläss. Umfangskräfte KN		Best.-Nr. Bohrbild		
		d01	d1		normal	max	A	B	C
100	2	160	150	80	2,92	5,85	66401V	66402V	66403V
120	2	180	170	90	2,92	5,85	69703V	69704V	69705V
140	2	200	190	100	3,04	6,08	69709V	69710V	69711V
160	2	220	210	110	3,04	6,08	73003V	73004V	73005V
180	2	240	230	120	3,04	6,08	73009V	73010V	73011V
200	2	260	250	130	3,04	6,08	73015V	73016V	73017V
220	2	280	270	140	3,04	6,08	73021V	73022V	73023V
240	2	310	300	155	3,52	7,04	73027V	73028V	73029V
260	2	330	320	165	3,52	7,04	73033V	73034V	73035V
280	2	350	340	175	3,52	7,04	73039V	73040V	73041V
300	3	372	360	124	6,24	12,48	73045V	73046V	73047V
320	3	396	380	132	6,24	12,48	73051V	73052V	73053V
340	3	414	400	138	6,24	12,48	73057V	73058V	73059V
360	3	432	420	144	6,24	12,48	73063V	73064V	73065V
380	3	456	440	152	6,24	12,48	73069V	73070V	73071V
400	3	483	470	161	7,68	15,36	73075V	73076V	73077V
420	3	504	490	168	7,68	15,36	73081V	73082V	73083V
440	3	522	510	174	7,68	15,36	73087V	73088V	73089V
460	3	546	530	182	7,68	15,36	73093V	73094V	73095V
480	3	564	550	188	7,68	15,36	73099V	73100V	73101V
500	3	594	580	189	8,40	16,80	73105V	73106V	73107V
520	3	612	600	204	8,40	16,80	73111V	73112V	73113V
540	3	636	620	212	8,40	16,80	73117V	73118V	73119V
560	3	654	640	218	8,40	16,80	73123V	73124V	73125V
580	3	672	660	224	8,40	16,80	73129V	73130V	73131V
600	3	693	680	231	8,40	16,80	73135V	73136V	73137V
620	4	728	710	182	12,16	24,32	66141V	66142V	66143V
640	4	748	730	187	12,16	24,32	66144V	66145V	66146V
660	4	768	750	192	12,16	24,32	66147V	66148V	66149V
680	4	792	770	198	12,16	24,32	66150V	66151V	66152V
700	4	808	790	202	12,16	24,32	66153V	66154V	66155V
720	4	828	810	207	12,16	24,32	66156V	66157V	66158V
740	4	848	830	212	12,16	24,32	66159V	66160V	66161V
760	4	868	850	217	12,16	24,32	66162V	66163V	66164V
780	4	888	870	222	12,16	24,32	66165V	66166V	66167V
800	5	920	900	184	18,00	36,00	66168V	66169V	66170V
820	5	940	920	188	18,00	36,00	66171V	66172V	66173V
840	5	960	940	192	18,00	36,00	66174V	66175V	66176V
860	5	980	960	196	18,00	36,00	66177V	66178V	66179V
880	5	1000	980	200	18,00	36,00	66180V	66181V	66182V
900	5	1020	1000	204	18,00	36,00	66183V	66184V	66185V
960	5	1080	1060	216	18,00	36,00	66192V	66193V	66194V
1000	5	1120	1100	224	18,00	36,00	66198V	66199V	66200V
1100	5	1220	1200	244	18,00	36,00	66386V	66387V	66388V
1200	5	1320	1300	264	18,00	36,00	66389V	66390V	66391V
1300	5	1420	1400	284	18,00	36,00	66392V	66393V	66394V
1400	5	1520	1500	304	18,00	36,00	66395V	66396V	66397V
1500	5	1620	1600	324	18,00	36,00	66398V	66399V	66400V

Drehverbindungen

