

Bachelorarbeit

Felix Sonnenburg

Methodische Weiterentwicklung eines Produktes am Beispiel einer mechanischen Baugruppe

Felix Sonnenburg
**Methodische Weiterentwicklung eines
Produktes am Beispiel einer
mechanischen Baugruppe**

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

Erstprüfer/in: Prof. Dr.-Ing. Andreas Meyer-Eschenbach
Zweitprüfer/in : Dipl.-Ing. Niels Eiben

Abgabedatum: 21.12.2015

Zusammenfassung

Felix Sonnenburg

Thema der Bachelorthesis

Methodische Weiterentwicklung eines Produktes am Beispiel einer mechanischen Baugruppe

Stichworte

Methodische Weiterentwicklung, Konstruktionsmethodik, Konstruktion, Maschinenbau, Anforderungsliste, Strukturanalyse, Funktionsstruktur, Schwachstellenanalyse, Schraubstock, Sensor, Einflussmatrix, Spindel, Zielsystem, Nutzwert Analyse

Kurzzusammenfassung

Diese Arbeit umfasst eine Weiterentwicklung eines mechatronischen Schraubstocks. Der Schraubstock wurde an der HAW Hamburg für den Einsatz in einem Schraubenprüfstand entwickelt. Die Weiterentwicklung des Schraubstocks läuft nach dem Muster des methodischen Konstruierens ab. Der bestehende Schraubstock wird analysiert, um Schwachstellen zu entdecken. Anschließend werden die Schwachstellen systematisch optimiert. Das Ergebnis dieser Arbeit ist ein kompletter 3D-Datensatz des Schraubstocks sowie die dazugehörige Dokumentation. Außerdem wird innerhalb der Arbeit ein, anhand der Weiterentwicklung allgemein gültiges Ablaufschema einer Weiterentwicklung erstellt und diskutiert.

Felix Sonnenburg

Title of the paper

Methodical development of a product using the example of a mechanical assembly

Keywords

Methodic further development, design methodology, engineering, construction, requirement specification, structure analysis, function structure, weak point analysis, bench vice, sensor, influence matrix, spindle, system of aims, utility analysis

Abstract

This work includes development of a mechatronical bench vice. The vice was developed at HAW Hamburg for use in a screw test bench. The development of the vice expires after the pattern of methodological constructing. The existing vice is analyzed in order to discover weak points. Then the weaknesses are systematically optimized. The result of this work is a complete 3D data set of the vice and the related documentation. In addition, a reference to the development of a universal schedule a further development is created and discussed within the work.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	5
Inhaltsverzeichnis.....	6
Formelzeichen.....	8
1 Einleitung	9
1.1 Aufgabenstellung	9
1.2 Ziele der Arbeit	9
2 Theoretische Grundlagen	11
2.1 Bedeutung und Entwicklung der Konstruktionsmethodik.....	11
2.2 Grundsätzlicher Ablauf in der Konstruktionsmethodik	12
2.3 Einflussgrößen.....	13
2.4 Konstruktionsarten	13
2.5 Funktionen und Funktionsstrukturen	16
2.6 Methodenübersicht mit Zuordnung zu den jeweiligen Phasen.....	18
2.7 Allgemeiner Aufbau eines Schraubstocks	19
3 Weiterentwicklung des Schraubstocks	20
3.1 Entwicklungsstand des Schraubstocks	20
3.1.1 Vorgehensweise während der Entwicklung	20
3.2 Klären der Aufgabenstellung.....	23
3.3 Beschreibung der Schraubstock-Struktur.....	24
3.3.1 Cluster des Schraubstocks	26
3.3.2 Strukturanalyse	27
3.3.3 Funktionsanalyse	27
3.3.4 Fehleranalyse.....	29
3.4 Konzipieren von Lösungsprinzipien.....	36
3.4.1 Führung.....	37
3.4.2 Schnittstelle 1 Mutter-Mutterblock.....	41
3.4.3 Schnittstelle 4 Sensorblock-Backenhalter.....	43
3.4.4 Schnittstelle 6 Spindel-Schlitten	45
3.5 Entwurf der Weiterentwicklung.....	49
3.6 Realisierung der Weiterentwicklung des Schraubstocks	54
3.6.1 Realisierung der Führung	55
3.6.2 Realisierung der Schnittstelle 1	55
3.6.3 Realisierung der Schnittstelle 4	57
3.6.4 Realisierung der Schnittstelle 6	58
3.7 Ablaufschema der Weiterentwicklung des Schraubstocks.....	60

3.8 Diskussion der Übertragbarkeit der Entwicklungsschritte des Ablaufschemas der Weiterentwicklung.....	61
4 Zusammenfassung und Fazit	63
Abbildungsverzeichnis.....	66
Tabellenverzeichnis.....	67
Quellenverzeichnis	68
Anhang.....	70
A.1 Konstruktionskatalog zu Teilfunktionen	71
A.2 METUS-Raute zum Schraubstock.....	72
A.3 Bewertungstabelle der Lösungsprinzipien	73
A.4 Aufgabenstellung Bachelorprojekt SoSe 15	74
A.5 Datenblatt Kraftaufnehmer	75
A.6 Arbeitsblatt zur Weiterentwicklung des Schraubstocks MPE 2 WS 15/16.....	76
A.7 Ergebnisse der Wellenberechnung MPE2 WS 14/15	78
A.8 Auszug aus Datenblatt Gewindemutter	79
A.9 Datenblatt Kugelscheibe	80
A.10 Datenblatt Teflonscheibe	81
A.11 Zeichnungssatz zur Weiterentwicklung des Schraubstocks	82
A.12 Stückliste	97
Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Bachelorarbeit	

Formelzeichen

Zeichen	Einheit	Benennung
E_{Stahl}	MPa	E-Modul von Stahl
$F_{Axial\ zul.}$	kN	Zulässige Axialkraft
$F_{Axial\ max.}$	kN	Maximale Axialkraft
F_N	kN	Normalkraft
F_R	kN	Reibkraft
F_{max}	kN	Maximal übertragbare Kraft mit PTFE
S_K	-	Sicherheit gegen Knicken
$d_{krit.}$	mm	Kritischer Durchmesser
$l_{krit.}$	mm	Kritische Knicklänge
l_{nenn}	mm	Länge der Spindel
p_M	MPa	Flächenpressung Mutter
p_{zul}	MPa	Zulässige Flächenpressung
P	-	Steigung
l_1	mm	Gewindelänge Mutter
d_2	mm	Flankendurchmesser
H_1	-	Flankenüberdeckung
μ_{S-S}	-	Reibungszahl Stahl-Stahl (trocken)
μ_{S-T}	-	Reibungszahl Stahl-Teflon (trocken)
d	mm	Durchmesser
d_a	mm	Außendurchmesser Spindel
d_i	mm	Kerndurchmesser Innengewinde
A_s	mm^2	Stirnfläche Spindel

1 Einleitung

Diese Arbeit umfasst einen systematischen Weiterentwicklungsprozess eines mechatronischen Schraubstocks von der Analyse der Aufgabenstellung bis zum 3D-Datensatz des optimierten Schraubstocks. Der Schraubstock wurde für einen Schraubenprüfstand im Labor für Maschinenelemente und Tribologie an der HAW Hamburg entwickelt. Innerhalb des Prüfstandes werden Schraubenverbindungen untersucht. Für die Zertifizierung des Prüfstandes ist die Einspannung eines Schraubenzylinders mit einer reproduzierbaren und einstellbaren Kraft erforderlich. Da bei einem herkömmlichen Schraubstock diese Eigenschaften nicht vorhanden sind, wurde innerhalb der Lehrveranstaltung Methodische Produktentwicklung 2 bei Prof. Meyer-Eschenbach ein Schraubstock entwickelt, der mit Hilfe eines Kraftaufnehmers die Messbarkeit der axialen Kräfte gewährleistet. Da der Entwicklungsprozess innerhalb eines Semesters nicht zu einem vollständigen Schraubstock führte, wurde dieser in einem nachfolgenden Bachelorprojekt komplettiert, weiterentwickelt und getestet. Bei den Tests des Schraubstocks fielen Schwachstellen bezüglich der Führungsgenauigkeit und der Leichtgängigkeit der Führung auf. Innerhalb dieser Arbeit wird der Schraubstock in seiner Struktur und Funktion analysiert mit dem Ziel, weitere Schwachstellen der bisherigen Konstruktion aufzudecken. Zu diesen Schwachstellen werden durch den systematischen Einsatz von geeigneten Methoden Lösungsprinzipien generiert und ausgearbeitet.

1.1 Aufgabenstellung

Die Aufgabe dieser Arbeit besteht darin, eine mechanische Baugruppe einer methodischen Weiterentwicklung zu unterziehen. Folgende Schwerpunkte sind von zentraler Bedeutung:

- Analyse der vorhandenen Konzepte und Entwürfe zu dem Schraubstock
- Klärung des aktuellen Weiterentwicklungsbedarf
- Analyse und Auswertung der relevanten methodischen Grundlagen aus der Literatur
- Planung und Durchführung der Weiterentwicklung am Beispiel des intelligenten Schraubstocks
- Realisierung eines ausgewählten Entwurfs
- Erstellung eines Ablaufschemas und Diskussion der Übertragbarkeit der Entwicklungsschritte

1.2 Ziele der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, den Weiterentwicklungsprozess des Schraubstocks zu beleuchten und anhand der Vorgehensweise und der angewendeten Methoden einen allgemeingültigen Ablaufplan für eine Weiterentwicklung eines technischen Produktes abzuleiten. Die Realisierung, d.h. die Fertigung der Weiterentwicklung, ist innerhalb dieser Arbeit nicht gefordert. Die Weiterentwicklung ist systematisch zu dokumentieren und in einer dreidimensionalen Konstruktion umzusetzen. Es müssen alle Informationen für die Fertigung der Bauteile in der Arbeit vorhanden sein. Für alle verwendeten Bauteile sind technische

Zeichnungen zu erstellen, anhand derer die Bauteile in der Laborwerkstatt der HAW gefertigt werden können. Bei einer eventuellen Verwendung von Zukaufteilen müssen alle relevanten Informationen dieser Arbeit beigefügt werden. Für Verbindungselemente wie Schrauben und Stifte ist die zutreffende Normbezeichnung in der Stückliste zu vermerken.

2 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Literaturrecherche zusammengetragen, welche für den Weiterentwicklungsprozess des Schraubstocks von zentraler Bedeutung sind. Es wurden Werke zum Thema Konstruktionsmethodik auf Lösungsvorschläge zum Ablauf einer methodischen Weiterentwicklung untersucht. (Ehrlenspiel 2009, Beitz, et al., 2007 und 2013, Lindemann 2007, VDI 2221, 1993, VDI 2222, 1997)

Außerdem flossen Vorlesungsinhalte der Lehrveranstaltungen Methodische Produktentwicklung 2 (Meyer-Eschenbach 2014) und Entwicklungs- und Konstruktionsmanagement (Kopenhagen 2014) in den Analyse- und Auswertungsprozess mit ein.

2.1 Bedeutung und Entwicklung der Konstruktionsmethodik

Die Produkte im Maschinenbau haben sich in den letzten Jahren stark verändert. Waren sie früher rein mechanisch, so bestehen sie heute aus einem Zusammenspiel zwischen mechanischen und elektrischen Komponenten. Diese sogenannten mechatronischen Produkte erhöhen die Komplexität in der Produktentwicklung eines Unternehmens. Außerdem hat sich der Produktentwicklungsprozess durch die Globalisierung in den letzten 20 Jahren stark verändert. Die dadurch entstandenen neuen Märkte mit neuen Wettbewerbern führen zu einer schärferen Konkurrenzsituation in der Industrie. (Beitz, et al., 2013, S. 6)

Diese Situation zwingt die Unternehmen zu einer Differenzierung ihres Produktportfolios, um ihre Marktanteile zu halten bzw. zu erhöhen. Die entstandenen Produktvarianten führen zu einer Komplexität im Unternehmen. Ein weiterer, immer wichtiger werdender Wettbewerbsfaktor ist der Innovationsgrad eines Produktes. Die Wettbewerbssituation führt aber auch zu einer immer kürzer werdenden Verweildauer der Produkte am Markt. Dies führt zu drastischen Kürzungen der Entwicklungsdauer eines Produktes.

Um die kürzere Entwicklungsdauer eines Produktes so effizient wie möglich nutzen zu können, wurde die Konstruktionsmethodik entwickelt.

Das Gebiet der methodischen Konstruktion ist relativ jung. Noch bis etwa Mitte des 20. Jahrhunderts wurden technische Systeme von Konstrukteuren intuitiv oder iterativ entwickelt. Gelehrt wird dieses Themengebiet erst seit den 1970er Jahren. [1]

Das intuitive Vorgehen ist ein einfallbetontes Konstruieren, dessen Grundlage eine erste Idee ist. Aufgrund dieser Idee wird ein Entwurf erstellt. Analysiert wird bei dieser Methode unterbewusst, es gibt kein systematisches Vorgehen und die Qualität des Produktes ist vollständig von der Kompetenz und Kreativität des Konstrukteurs abhängig. (Schmid. 2015, S. 11)

Bei dem iterativen Vorgehen wird planvoller vorgegangen. Im ersten Schritt der Lösungsfindung wird die Aufgabenstellung bewusst analysiert. Aus dieser Analyse resultiert eine erste Lösungsidee, die in Schleifen bewertet und anschließend angepasst oder neuentwickelt wird. Die Güteklasse bei diesem Vorgehen ist höher einzuschätzen als die des intuitiven Verfahrens, hängt jedoch auch noch maßgebend von der Kompetenz des Konstrukteurs ab. (Schmid 2015, S. 11)

Beide Vorgehen sind nicht mehr zeitgemäß und wurden von einer detaillierten, systematischen Vorgehensweise bei der Entwicklung eines Produkts abgelöst.

2.2 Grundsätzlicher Ablauf in der Konstruktionsmethodik

Das generelle Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren von Produkten wird in der VDI 2221 (1993, S. 9) in vier Hauptphasen unterteilt:

1. Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung
2. Konzipieren
3. Entwerfen
4. Ausarbeiten

Am Anfang der Konstruktionsmethodik steht die Aufgabenstellung. Diese wird im ersten Schritt nach Angaben zum Produkt bezüglich der Funktion und Vorgaben der Leistungsfähigkeit durchsucht. Ebenfalls sind einzuhaltende Kosten und Termine festzuhalten. Mit Hilfe dieser Informationen können die lösungs- und gestaltbeeinflussenden Produktspezifikationen definiert werden. Das Ergebnis der ersten Hauptphase ist eine sogenannte Anforderungsliste, in der die Anforderungen nach Fest-, Mindestanforderungen und Wünschen klassifiziert werden. (Beitz, et al., 2007, S. 210)

Das methodische Konzipieren ist der Teil des Konstruierens, der nach dem Klären der Aufgabenstellung durch Abstrahieren auf die wesentlichen Probleme eine prinzipielle Lösung festlegt. Hierfür werden Funktionsstrukturen aufgestellt und daraus geeignete Wirkprinzipien abgeleitet. Die so gefundenen Wirkprinzipien werden im nächsten Schritt zu Wirkstrukturen kombiniert, welche im Anschluss bewertet werden. Die ausgewählte Wirkstruktur dient als Grundlage der prinzipiellen Lösung. (vgl. Beitz, et al., 2007, S. 210, S. 211)

Ausgehend von der Wirkstruktur und der prinzipiellen Lösung wird in der Hauptphase, dem Entwerfen, die Baustruktur nach technischen und wirtschaftlichen Aspekten eindeutig und vollständig erarbeitet. Das Ergebnis dieser Phase ist die gestalterische Festlegung einer Lösung. (Beitz, et al., 2007, S. 212)

In der letzten Konstruktionsphase, dem Ausarbeiten, wird die Baustruktur durch endgültige Vorschriften für die Form, Bemessung, Festlegung der Werkstoffe usw. ergänzt und in einer Produktdokumentation zusammengestellt. (vgl. Beitz, et al., 2007, S.212)

Diese vier Phasen beinhalten jeweils mehrere Arbeitsschritte mit festgelegten Ergebnissen. Für die unterschiedlichen Phasen bei der Entwicklung werden dem Konstrukteur in der VDI 2221 geeignete Methoden vorgeschlagen. So können selbst unerfahrene Konstrukteure qualitativ hochwertige Produkte erschaffen. (vgl. VDI 2221,1993, S. 33-38)

2.3 Einflussgrößen

Während eines Produktentstehungsprozess wirkt eine Vielzahl an Faktoren auf das Produkt ein. In der Literatur Pahl/Beitz (Beitz, et al., 2007) werden diese in einer Leitlinie zusammengefasst. Die folgende Abbildung bildet für den Konstrukteur oder das Entwicklungsteam eine gute Übersicht an zu beachtenden Faktoren.

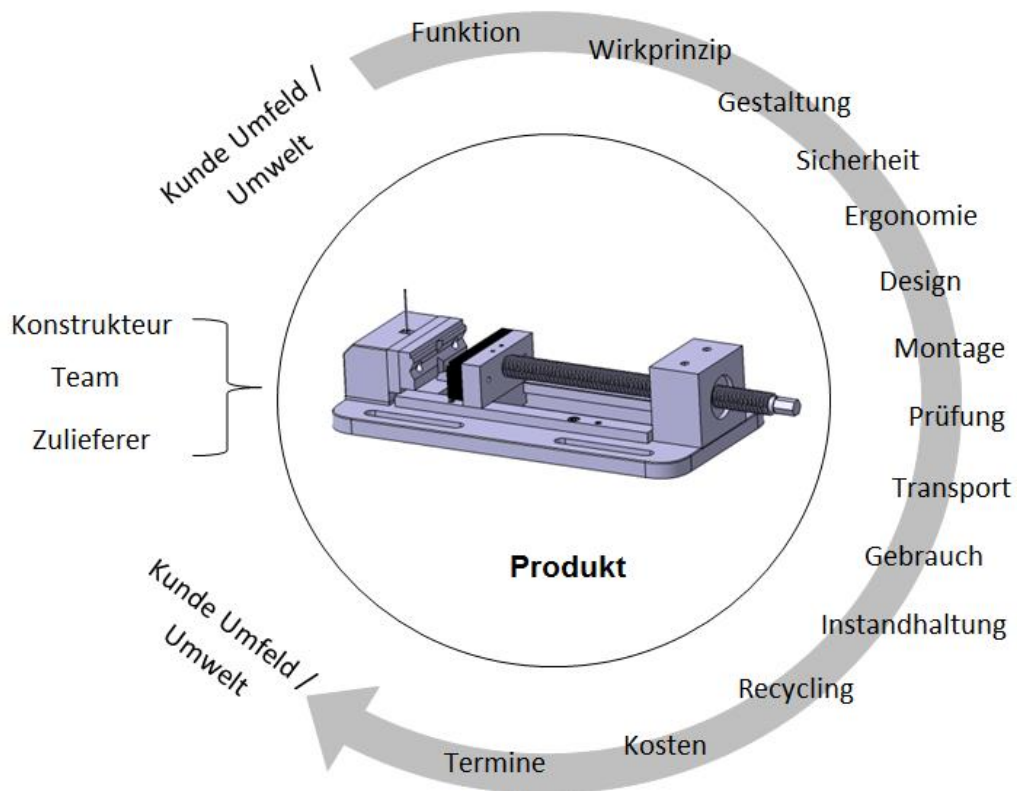


Abbildung 1: Einflussgrößen und Bedingungen beim Entwickeln und Konstruieren (vgl. Beitz, et al., 2007, S.59)

Bei der Bewertung der Konzepte durch Bewertungskriterien ist die Leitlinie mit Einflussgrößen und Bedingungen eine wichtige Orientierungsgrundlage, die die externen Einflüsse auf ein Produkt darstellt. Für die Erstellung der Bewertungsfaktoren ist die von der Aufgabenstellung abgeleitete Anforderungsliste entscheidend.

2.4 Konstruktionsarten

In Abhängigkeit des Schwierigkeits- und Neuheitsgrad entstehen unterschiedliche Konstruktionsarten, deren Grenzen jedoch fließend und in der Literatur nicht eindeutig definiert sind. In der VDI 2222 (1997, S. 7) werden die Konstruktionsarten z.B. nach Konstruktionsanlass bzw. dem Konstruktionsbereich unterteilt. Hier wird zwischen Entwicklungskonstruktion, Auftragskonstruktion, Angebotskonstruktion und Betriebsmittelkonstruktion unterschieden. Bei der Unterteilung der Konstruktionsarten nach Grad der Entwicklung und Änderung der Konstruktionsmerkmale unterteilt die VDI 2222 (1997, S.8) Neukonstruktion, Variantenkonstruktion und Anpassungskonstruktion voneinander. Je nach Literatur und Unterscheidungskriterium weichen die Bezeichnungen in der Literatur voneinander ab, können aber wie folgt zusammengefasst werden:

- Rekonstruktion
- Variantenkonstruktion
- Anpassungskonstruktion
- Generationenentwicklung
- Weiterentwicklung
- Neukonstruktion

Bei der Rekonstruktion wird ein bestehendes Produkt kopiert. Die Produktarchitektur, d.h. die Funktions- und Produktstruktur bleiben vollständig erhalten.

Bei einer Variantenkonstruktion wird die vorhandene Konstruktion lediglich in ihrer Größe und Anordnung variiert. Die Funktionsstruktur bleibt komplett erhalten, es ändern sich lediglich Abmaße. Die Anforderungen an den Konstrukteur sind vergleichsweise niedrig. (Beitz et al., 2007, S. 22)

Der Anforderungsgrad bei der Anpassungskonstruktion ist, verglichen mit der Variantenkonstruktion, höher, denn die Konstruktion muss an veränderte Anforderungen bzw. Randbedingungen angepasst werden. Das Lösungsprinzip bleibt erhalten, d.h. die Funktionsstruktur des Produkts ist unverändert. Bei dieser Konstruktionsart werden nur Baugruppen oder Komponenten des Produktes neu konstruiert. (Schmid, 2015, S. 8)

Die Generationenentwicklung wird in der Literatur nicht definiert, lässt sich jedoch am Beispiel der Automobilindustrie zutreffend erklären. Der VW Golf ist eine sogenannte Generationenentwicklung, bei dem sich zwischen den sechs Generationen stetig Systemeigenschaften geändert haben, es aber kaum zu Veränderungen der Teilfunktionen gekommen ist. Der Neuheitsgrad ist geringfügig höher als bei einer Anpassungskonstruktion.

Bei der Weiterentwicklung handelt es sich nicht um eine definierte Konstruktionsart. Die Weiterentwicklung von technischen Produkten umfasst vielmehr den allgemeinen Optimierungsprozess. Bei einer Weiterentwicklung ist es möglich, dass sich einzelne Teilfunktionen des Systems ändern können. Die Hauptfunktion bleibt jedoch bestehen. Durch die eventuelle Änderung der Funktionsstruktur steigen die Anforderungen an den Konstrukteur deutlich an, da dieser nun Lösungen für die veränderte Funktionsstruktur finden und an das System anpassen muss. Häufig geht eine Weiterentwicklung mit geänderten Anforderungen an das Produkt einher. Laut einer Veröffentlichung (Meyer-Eschenbach und Rudolz, 2014) sind rund 90% von Entwicklungsprojekten in der industriellen Praxis Weiterentwicklungen, die aus Optimierungen von technischen Produkten bestehen. Eine Forderung einer Weiterentwicklung könnte zum Beispiel die Gewichtsersparnis sein. Das Produkt wird demnach auf überschüssiges Material untersucht. Die Weiterentwicklung ist somit stark von der Geometrie des Produktes abhängig. Die Optimierung der Funktion eines Produktes könnte eine andere Forderung einer Weiterentwicklung sein, hier sind andere Aspekte von großer Bedeutung.

Hauptgründe einer Weiterentwicklung sind (vgl. Lingenau, 1994):

- Kundenwünsche
- Gesetzesänderungen
- Wirtschaftliche Gründe (z.B. Materialeinsparungen)
- Technologische Aspekte (z.B. Prozessinnovationen)

Die höchsten Anforderungen an den Konstrukteur entstehen bei einer Neukonstruktion, da erst ein vollständiges Lösungsprinzip entwickelt werden muss. Es kann nicht auf bereits bestehende Lösungen zurückgegriffen werden. (vgl. Schmid, 2015, S. 8)

Durch die neu zu erreichende Hauptfunktion des Systems ist der Innovationsgrad deutlich größer als bei den anderen Konstruktionsarten. Die Abbildung 2 dient dazu, die unterschiedlichen Konstruktionsarten übersichtlich einzuteilen und voneinander abzugrenzen. Die Einflüsse der Konstruktionsarten auf die Funktions- und Produktstruktur des zu entwickelnden Produktes werden in drei verschiedene Gruppen klassifiziert:

- u – unverändert
- v – verändert
- t – teilweise verändert

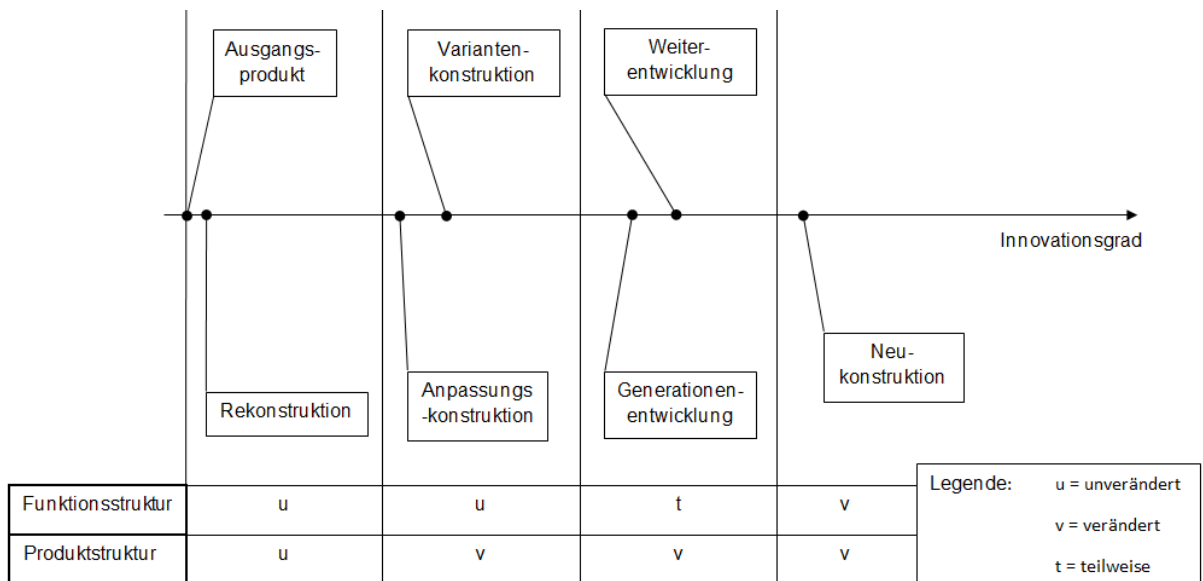


Abbildung 2: Konstruktionsarten nach Innovationsgrad

In der Aufgabenstellung ist eine Weiterentwicklung des Schraubstocks gefordert und deswegen ist diese Konstruktionsart für diese Arbeit von entscheidender Bedeutung.

Laut einer Veröffentlichung (Meyer-Eschenbach und Rudolz, 2014) wird bei der methodischen Weiterentwicklung zwischen dem Ablauf des Forward-Engineerings und des Reverse-Engineerings unterschieden, also dem klassischen Konstruieren von der Idee bis zum Produkt und dem „rückwärts“ Entwickeln, d.h. dem Konstruieren ausgehend vom fertigen Produkt zur Idee.

In der Veröffentlichung wird ein Leitfaden aufgezeigt, der zehn Arbeitsschritte beinhaltet und je nach Konstruktionsaufwand über sogenannte Brücken abgekürzt werden kann. (Siehe Abbildung 3)

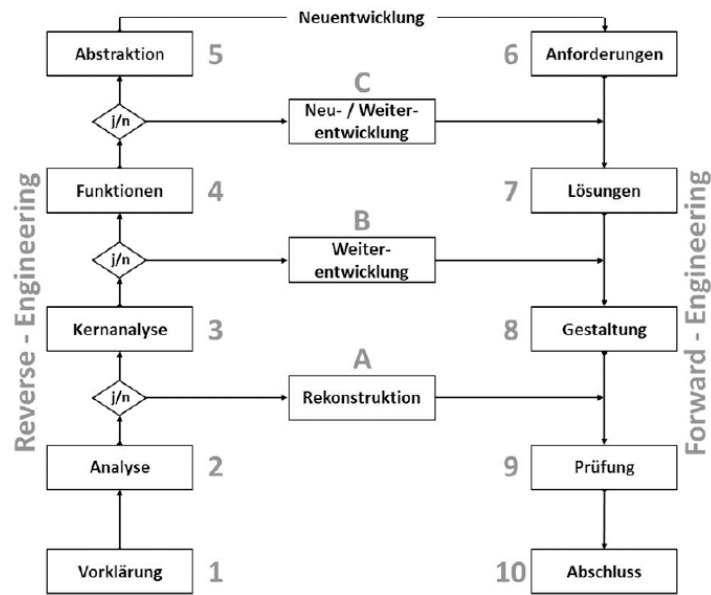


Abbildung 3: Leitfaden zur methodischen Weiterentwicklung von Bauteilen (Meyer-Eschenbach und Rudolz, 2014)

Die Graphik verdeutlicht, wie der Entwicklungsaufwand von der Rekonstruktion bis zur Neuentwicklung zunimmt, da die Anzahl der zu erledigenden Arbeitsschritte ansteigt. Bei der Rekonstruktion wird noch vor der Kernanalyse über eine sogenannte Brücke zur Prüfung des Bauteils abgekürzt. Für eine Weiterentwicklung ist nach diesem Leitfaden eine Kernanalyse erforderlich, je nach Umfang müssen zusätzlich Funktionen des Produktes analysiert werden. Die Konstruktionsart hängt somit maßgebend von dem Konkretisierungsgrad der bestehenden Konstruktion ab. Dieser Leitfaden unterscheidet die Konstruktionsarten in Rekonstruktion, Weiterentwicklung und Neuentwicklung, wobei zwischen einer Weiterentwicklung und einer Neuentwicklung keine klare Grenze gezogen wird.

2.5 Funktionen und Funktionsstrukturen

Eine Funktion ist der allgemeine und gewollte Zusammenhang zwischen Eingang und Ausgang eines Systems mit dem Ziel, eine Aufgabe zu erfüllen. (Beitz, et al., 2007, S.256)

Die folgende Abbildung (vgl. Ehrlenspiel, 2009) zeigt einen Eingangszustand und einen Ausgangszustand und sinnbildlich für die technische und lösungsneutrale Funktion des Systems steht die Black Box.

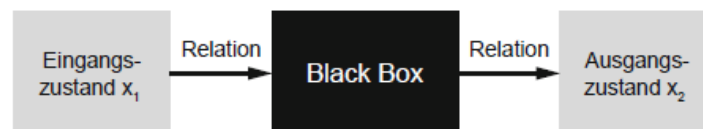


Abbildung 4: Formale Elemente zur Beschreibung einer Funktion

Diese Form der Funktionsbildung eignet sich bei der Neukonstruktion eines Produkts. Bei einer Weiterentwicklung eines Systems werden aber Komponenten und ganze Baugruppen, die bereits bestehen, übernommen. Für diesen Fall findet sich in der Literatur ein anderes Vorgehen. Hierbei bildet die Operation mit den Funktionseingängen und -ausgängen eine Teilfunktion. Das Verknüpfen aller Teilfunktionen führt zur Erfüllung der Gesamtfunktion. (vgl. Kartika, 2010)

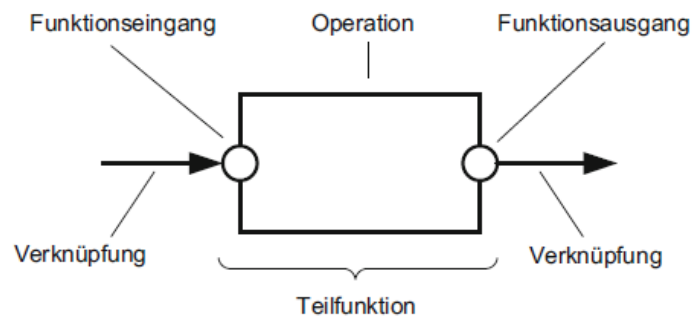


Abbildung 5: Formale Beschreibung einer Funktion

Um eine Funktionsstruktur definieren zu können, gibt es in der untersuchten Literatur unterschiedliche Ansätze. Eine Möglichkeit ist die sogenannte „Input-Output-Sicht“, bei der dem Fluss der Haupt- bzw. Teilfunktionen eine definierte Eingangs- und Ausgangsgröße zugeordnet werden.

Eine andere Möglichkeit ist die „hierarchische Sicht“, welche in Abbildung 6 dargestellt ist. Bei dieser Funktionsstruktur wird die Gesamtfunktion in Teilfunktionen gegliedert, um die Komplexität des Systems zu verringern. Hierbei kann die Funktion mit Hilfe des Substantiv-Verb-Modells definiert werden. Bei bereits vorhandenen Produkten, wird eine Baugruppe des Systems negiert und das System anschließend ohne diese Baugruppe betrachtet. Daraufhin kann die Funktion der Baugruppe mit Hilfe der Zusammensetzung aus Substantiv und Verb beschrieben werden. Nach diesem Muster werden alle Baugruppen des Systems analysiert und aus der Zusammensetzung aller Teilfunktionen die Gesamtfunktion ermittelt. (vgl. Beitz, et al., 2013, S. 346)

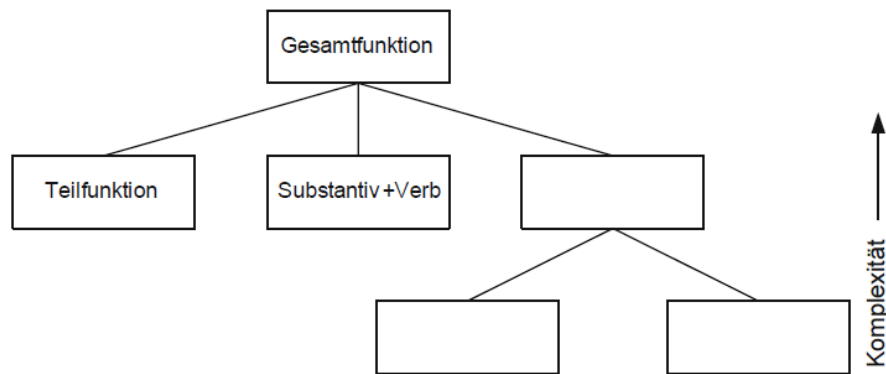


Abbildung 6: Funktionsstruktur entsprechend dem Substantiv-Verb-Modell

Diese Methode heißt Substract-Operate-Methode und zählt zu den Bottom-Up-Ansätzen. (Beitz, et al., 2007, S. 346) Bei dem Bottom-Up-Verfahren werden erst Komponenten des Systems im CAD-Modell entworfen oder vollständig modelliert. Anschließend können größere Strukturen konstruiert werden. Dieses Verfahren entwirft das System von der Komponente über Unterbaugruppen von „unten“ nach „oben“, bis der Gesamtentwurf feststeht. (vgl. Beitz, et al., 2007)

2.6 Methodenübersicht mit Zuordnung zu den jeweiligen Phasen

Dieser Abschnitt soll einen Überblick über die unterschiedlichen Methoden und deren Anwendung im Produktentstehungsprozess geben. Es werden jedoch nur ausgewählte Methoden vorgestellt. Eine ausführliche Sammlung aller Methoden findet sich in der VDI 2221 (1993, S. 33-38).

Aus der Analyse der Produkteigenschaften, die entweder schon vorhanden sind oder erst bestimmt werden müssen, und des Produktumfeldes werden Ziele abgeleitet, die als Orientierungshilfe während der Produktentwicklung dienen. Aus diesen Eigenschaften werden Funktionen des Produkts abgeleitet. Diese abstrakte Darstellung führt zu einer Vergrößerung des Suchfeldes. Die Funktionen müssen strukturiert werden, um optimale Lösungen zu generieren. Eine Auswahl der sogenannten Analyse- und Zielvorgabe-Methoden sind:

- Marktanalyse, Wettbewerberanalyse, Problemanalyse, Anforderungsliste

Eine Voraussetzung zum Entwickeln optimierter Lösungen ist das Generieren möglichst vieler Lösungsideen. Das Kombinieren heuristischer und diskursiver Ideenfindungstechniken führt sowohl zu einer hohen Ideenquantität, als auch zu einer erhöhten Ideenqualität. Geneigte Methoden hierfür sind:

- Brainstorming, Methode 635, Morphologischer Kasten, TRIZ-Methode

Die folgenden Methoden dienen der Kosten- und Wirtschaftlichkeitsberechnung. Diese Methoden sind in der Industrie von entscheidender Bedeutung. Für die Weiterentwicklung innerhalb dieser Arbeit spielen diese Verfahren eine untergeordnete Rolle.

Um aus den vielen Lösungsideen die optimalen Vorschläge herauszufiltern, werden in der Literatur folgende Methoden erwähnt:

- 3-Stufen-Auswahl, Nutzwert-Analyse, ABC-Analyse

Innerhalb der Konstruktion eines Produkts sind in nahezu jeder Projektphase Entscheidungen zu treffen. Die Auswahlliste ist bei zahlreichen Lösungsvorschlägen zweckmäßig. Es werden die Lösungsvarianten nach den Auswahlkriterien:

- A - Verträglichkeit
- B - Forderungen der Anforderungsliste erfüllt
- C - Realisierungsmöglichkeit hinsichtlich Wirkungshöhe, Größe usw. erkennen lässt
- D - Aufwand zulässig
- E - Unmittelbare Sicherheitstechnik gegeben
- F - Im eigenen Bereich bevorzugt

mit „ja“ (+), „nein“ (-), „Informationsmangel“ (?) oder „Anforderungsliste überprüfen“ (!) bewertet. Wurden alle Lösungsvorschläge bewertet, werden die Lösungsvarianten mit einem Entscheidungskennzeichen versehen. Diese sind ähnlich wie die Auswahlkriterien und bestehen aus „Lösung weiter verfolgen“, „Lösung scheidet aus“, „Informationen beschaffen (Lösung erneut beurteilen)“ oder „Anforderungsliste auf Änderungen prüfen“. (Beitz, et al., 2007, S.162 f.)

Eine weitere Methode, die in den frühen Entwicklungsphasen, also bei der Klärung der Aufgabe oder bei dem Konzipieren von Lösungsprinzipien angewendet werden kann, ist die TRIZ-Methode. TRIZ steht für das russische Akronym „Theorie des erfinderischen Problemlösen“ und wurde von Genrich Altshuller entwickelt. [5] Das Hauptmerkmal der Methode ist das Formulieren, Verstärken und Überwinden von technischen Widersprüchen. Diese Widersprüche ergeben sich aus der Verbesserung eines Parameters, die eine

Verschlechterung eines anderen Parameters nach sich zieht. (vgl. Beitz et al. 2007, S. 137) Zur Überwindung der Widersprüche hat Altschuller innovative Grundprinzipien definiert. Diese Grundprinzipien waren das Ergebnis einer umfassenden Patentrecherche mit der Erkenntnis, dass nahezu alle Problemstellungen mit Hilfe von 40 innovativen Grundprinzipien gelöst werden können. (vgl. Beitz et al. 2007) Altschuller konnte eine Matrix aufstellen, die den 40 technischen Parametern, die im Widerspruch zueinander stehen, bis zu vier Grundprinzipien zuordnet, mit denen dieser Widerspruch in der Vergangenheit bereits erfolgreich gelöst wurde. Eine Auflistung der technischen Parameter und innovativen Grundprinzipien ist der Literatur zu entnehmen. (siehe Beitz et al. 2007, S.139)

2.7 Allgemeiner Aufbau eines Schraubstocks

Der allgemeine Aufbau eines Schraubstocks besteht aus zwei Spannbacken, zwischen denen ein Werkstück eingespannt wird. Während bei den meisten Ausführungen eine Spannbacke fest montiert ist, kann die andere mit Hilfe einer Kurbel in Verbindung mit einer Gewindespindel bewegt werden. Je nach Art der Führung wird nach Flaschen- und Parallelschraubstöcken unterschieden. [2]

Der zu optimierende Schraubstock zählt zu den Parallelschraubstöcken, da die bewegliche Spannbacke sowohl durch die Spindel, als auch durch die Führungsschienen miteinander verbunden sind, sodass der Winkel der Spannbacken zueinander unabhängig von der Öffnung des Schraubstocks unverändert bleibt. Bei vielen Ausführungen verläuft die Spindel innerhalb der Führung. Die Spindel besitzt meist ein Trapezgewinde, welches sich durch die dicken Gewindegänge und die hohe Steigung hervorragend zur Übertragung von Bewegung und hoher Axialkräfte eignet. (vgl. Muhs, 2015)

Der Grundkörper der meisten Schraubstöcke besteht aus Gusseisen. Wegen der besseren Materialeigenschaften von Stahl werden die Grundkörper moderner Schraubstöcke aus Stahl geschmiedet. [2]

3 Weiterentwicklung des Schraubstocks

Im Folgenden Abschnitt der Arbeit wird die bisherige Entwicklung des Schraubstocks aufgezeigt. Anschließend wird der Schraubstock sowohl in seiner Struktur, als auch in seiner Funktion untersucht, mit dem Ziel, Fehler oder Schwachstellen der Konstruktion zu erkennen. Aufgrund der Entwicklungspotentiale werden methodisch Lösungen erzeugt und anschließend bewertet. Die ausgewählten Entwürfe werden konstruiert und der Schraubstockstruktur angepasst. Damit wird der Schraubstock einer Weiterentwicklung unterzogen, bei der gezielt Komponenten optimiert werden. Der grundsätzliche Aufbau des Schraubstocks bleibt dabei jedoch bestehen.

Bei der Analyse des vorgefundenen Schraubstock muss berücksichtigt werden, dass dieser aus einigen Kaufteilen (Spindel, Mutter, Spannbacken, Verdingungselemente) und aus - an der HAW gefertigten Bauteilen - besteht. Die Maschinen in der HAW-Werkstatt haben eine begrenzte Fertigungsgenauigkeit. Unter diesen Voraussetzungen ist eine spielfreie Führung der beweglichen Bauteile unrealistisch. Die Optimierungen haben das Ziel, den Schraubstock in der Funktion zu optimieren.

3.1 Entwicklungsstand des Schraubstocks

Der Schraubstock wurde in der Lehrveranstaltung Methodische Produktentwicklung 2 bei Prof. Meyer-Eschenbach über ein Semester (WS 14/15) entwickelt. Die Lehrveranstaltung bestand aus vier Gruppen, die alle einen eigenen Entwurf des Schraubstocks erstellt haben. Ein ausgewähltes Konzept wurde im gleichen Semester gefertigt. Dieser Schraubstock wurde im nächsten Semester innerhalb eines Bachelorprojektes weiterentwickelt und in seiner Funktion getestet.

3.1.1 Vorgehensweise während der Entwicklung

Bei der Entwicklung des Schraubstocks wurde zunächst die Aufgabenstellung geklärt. Die Aufgabenstellung befindet sich im Anhang. Diese besagt, dass für den Schraubprüfstand im MuT-Labor¹ an der HAW Hamburg ein Schraubstock methodisch entwickelt werden soll.

Nachdem die Aufgabenstellung geklärt war, wurde der Markt nach Produkten analysiert. Hierfür wurde nach Modellen in Internet, Baumarkt und der Literatur gesucht. Außerdem gab es schon eine Vielzahl an Schraubstöcken im Labor der HAW, auch diese wurden in ihrer Funktionsweise untersucht. Bei der Recherche wurde festgestellt, dass sich Schraubstöcke in drei Untergruppen klassifizieren lassen:

- Werkstattschraubstöcke
- Maschinenschraubstöcke
- Laborschraubstöcke

Die Fertigungsqualität und der Präzisionsgrad der Schraubstöcke sind bei den Laborschraubstöcken am größten. Diese Tatsache macht sich nicht nur bei den Preisen der jeweiligen Schraubstöcke bemerkbar, sondern auch beim Herstellungsaufwand.

¹ Labor für Maschinenelemente und Tribologie

Von den Ergebnissen der Recherche wurden anschließend Produkteigenschaften abgeleitet. Anhand der Eigenschaften und der Aufgabenstellung wurden Anforderungen für den Schraubstock definiert.

Folgende Eigenschaften wurden festgelegt:

- Haptik & Ergonomie
- Gewicht
- Spannweite
- Preis
- Führungsgenauigkeit
- Winkelverstellung (horizontal und vertikal)
- Spannbackenform
- Fertigungsqualität
- Spannbackenbreite
- Austauschbarkeit der Spannbacken
- Schnellverstellung möglich
- Reproduzierbarkeit der Spannkraft
- Einstellbare Spannkraft
- Montagemöglichkeit
- Material
- Reinigungsmöglichkeit
- Optik & Design

Aus den Produkteigenschaften konnten bei dem Abgleich der Aufgabenstellung Anforderung abgeleitet werden:

- **Führungsgenauigkeit**
- **Reproduzierbarkeit der Spannkraft**
- **Einstellbare Spannkraft**
- **Fertigungsqualität**
- Haptik & Ergonomie
- Austauschbarkeit der Spannbacken
- Montagemöglichkeit
- Optik & Design

Dabei wurden die hervorgehobenen Anforderungen als besonders wichtig festgelegt.

Im nächsten Schritt wurden die Anforderungen mit Leistungsmerkmalen ergänzt. Diese Merkmale wurden von den Teams bestimmt und dienen bei der Entwicklung des Schraubstocks als Grundlage für die Aufstellung von Bewertungskriterien.

Anforderung an den Schraubstock
Reproduzierbarkeit der Spannkraft auf 1% genau
Messbarkeit der Spannkraft auf 0,5% genau
Ablesbarkeit der Spannkraft
Austauschbarkeit der Spannbacken (Größe und Form z.B. zylindrische Bauteile)
Fertigungsgenauigkeit (max. 1° Winkelabweichung der Spannbacken zueinander, ± 0,1 mm Ebenheit der Schraubstockunterseite, ± 0,5 mm Höhendifferenz der Spannbacken)
Fertigung in der Laborwerkstatt oder durch Zukaufteile

Tabelle 1: Anforderungen an den Schraubstock²

Um ein möglichst breites Suchfeld zu generieren, wurde die Gesamtfunktion des Schraubstocks festgelegt und anschließend abstrahiert.

² Aus Lehrveranstaltung MPE 2 WS 2014/15

Abstraktionsgrad	Objekt	Prädikat	Verlorene Zusatzinformation	Ziel der Abstraktion
1	Werkstück	Einspannen	-	-
2	Festen Körper	Fixieren	Einspannen, zu bearbeitendes Bauteil	Verallgemeinerung des Vorgangs
3	Festen Stoff	Bewegung unterbinden	Ortsfester Bezug	Erweiterte Beschreibung der physikalischen Funktionsweise
4	Stoff	Freiheitsgrade reduzieren	Gestalt des Stoffes	Lösen aus dem bekannten Kontext

Tabelle 2: Abstraktionsgrad³

Die Tabelle 2 enthält Informationen zum Objekt der Abstraktion und zum Prädikat. Außerdem werden das Ziel und verlorene Informationen der Abstraktion in der Tabelle festgehalten. Die erste Ebene der Tabelle beschreibt die Gesamtfunktion des Schraubstocks (Werkstück einspannen). Auf der nächsten Ebene wird das Werkstück auf einen festen Körper abstrahiert und das Prädikat einspannen auf fixieren verallgemeinert. In der 3. Ebene ist der feste Körper zu einem festen Stoff und das Fixieren zu Bewegung unterbinden abstrahiert worden. In der letzten Ebene wird nur noch ein Stoff betrachtet und das Prädikat ist zu Freiheitsgrade reduzieren verallgemeinert worden.

Ziel der Abstraktion ist es, vom Individuellen und Zufälligen das Allgemeingültige und Wesentliche zu erkennen. (vgl. Beitz, et al., 2007, S. 233)

Anschließend wurden drei Gruppen gebildet und die Themenbereiche Antrieb, Sensorik und Rahmen aufgeteilt.

Die methodische Vorgehensweise war in allen Gruppen gleich. Die vorhandenen Anforderungen wurden je nach Aufgabengebiet verfeinert. Unter Verwendung der Recherche-Ergebnisse und der jeweiligen Anforderungen wurden Lösungsideen entwickelt, die mit Hilfe des Variantenmanagements vervielfältigt wurden. Hierbei werden folgende Parameter der Komponenten verändert (vgl. Lingnau, 1994):

- Art
- Form
- Lage
- Größe
- Anzahl

Zum Generieren von Lösungsideen eignen sich Kreativitätstechniken wie zum Beispiel (vgl. VDI 2221, 1993):

- Brainstorming
- Methode 66
- Methode 635

Anschließend wurden die Lösungsideen mit Hilfe des Variantenmanagement verändert. Hierbei wurden die Lösungsprinzipien durch Veränderung der Art, Form, Lage, Größe und

³ Aus Lehrveranstaltung MPE 2 WS14/15

Anzahl variiert. Mit Hilfe des Morphologischen Kastens konnten viele Kombinationen der Lösungsprinzipien zu Wirkstrukturen erstellt werden.

Um die Produktlösungen bewerten zu können, wurden Bewertungskriterien für das Produkt festgelegt. Als nächsten wurden Auswahl- und Bewertungsmethoden wie z.B.:

- ABC-Analyse
- Auswahlliste

gewählt und auf die Wirkstrukturen angewendet.

Nach dem Festlegen auf einen Lösungsentwurf wurde eine Kaufteilanalyse durchgeführt, um die Konstruktion den Ergebnissen der Analyse anpassen zu können. Der kostengünstigste Weg der Herstellung des Schraubstocks wurde durch eine Gegenüberstellung der Kauf- und Eigenfertigungspreise ermittelt. Das Ergebnis der Analyse war, dass ausgewählte Komponenten, wie Spindel und Verbindungselemente gekauft und die restlichen Bauteile in der Werkstatt an der HAW hergestellt wurden.

Bevor Bauteile gekauft oder gefertigt werden konnten, mussten Fertigungszeichnungen zu den Bauteilen erstellt werden. Um die drei Unterbaugruppen Rahmen, Sensorik und Antrieb später zu einem funktionierenden Schraubstock zusammenfügen zu können, wurden die Schnittstellen der Unterbaugruppen identifiziert und Abmaße festgelegt.

Als Ergebnis der Veranstaltung entstand ein zusammengebauter Schraubstock, der in seiner Funktion nicht getestet wurde. Aus zeitlichen Gründen wurden die Spannbacken mit dem Verfahren Rapid Prototyping hergestellt. Diese „weichen“ Spannbacken ließen keine Versuche zur Funktion des Sensors und somit der Kraftermittlung zu.

Der Schraubstock wurde daraufhin innerhalb eines Bachelorprojektes im SoSe 15 unter der Leitung von Prof. Meyer-Eschenbach weiterentwickelt bzw. in seiner Funktion optimiert. Die Schwerpunkte bestanden darin, die Führungseigenschaften zu verbessern, den Sensor zu testen, gegebenenfalls den Aufbau zu optimieren und die Spannbacken aus gehärtetem Stahl zu fertigen.⁴

Der Entwicklungsprozess war sehr ähnlich zu dem beschriebenen Ablauf und wird daher nicht genauer dargestellt.

3.2 Klären der Aufgabenstellung

Die Aufgabe besteht darin, den Schraubstock weiterzuentwickeln. Durch den modularen Aufbau des Schraubstocks ist es möglich, gezielt Komponenten oder Module zu verändern, ohne den grundsätzlichen Aufbau des Schraubstocks zu variieren. Wie Weiterentwicklung soll nach den Aspekten der Konstruktionsmethodik geplant und durchgeführt werden. Anschließend soll aus der Vorgehensweise der Weiterentwicklung ein allgemeingültiges Ablaufschema für die Weiterentwicklung beliebiger Produkte erstellt und diskutiert werden. Die Weiterentwicklung wurde in der Aufgabenstellung nicht genauer definiert. Da der Schraubstock in seiner Funktion sehr präzise funktionieren muss, lässt sich die Forderung der optimierten Funktion aus der Aufgabenstellung ableiten. Da der Hochschule nur begrenzte finanzielle Mittel zur Verfügung stehen, ist eine weitere Forderung, die Weiterentwicklung möglichst kostengünstig zu gestalten. Die Anforderungen aus der Tabelle 1 sind weiterhin gültig, da diese für die Funktion des Schraubstocks notwendig sind, und werden durch Forderungen, die aus der Weiterentwicklung des Schraubstocks resultieren, ergänzt.

⁴ Vergleiche Aufgabenstellung Bachelorprojekt im Anhang

Anforderungsliste für Weiterentwicklung des Schraubstocks		
Nr.	Benennung	Ein- ordnung
1	Reproduzierbarkeit der Spannkraft auf 1% genau	M
2	Messbarkeit der Spannkraft auf 0,5% genau	M
3	Axialkräfte bis maximal 11,5 kN übertragbar	F
4	Ablesbarkeit der Spannkraft	F
5	Austauschbarkeit der Spannbacken (Größe und Form z.B. zylindrische Bauteile)	F
6	Form- und Lagetoleranzen (max. 1° Winkelabweichung der Spannbacken zueinander, ± 0,1 mm Ebenheit der Schraubstockunterseite, ± 0,5 mm Höhendifferenz der Spannbacken)	F
7	Fertigung in der Laborwerkstatt oder durch Zukaufteile	F
8	Erhöhung der Führungsgenauigkeit	F
9	Weiterverwendung des eingebauten Sensors	F
10	Kostengünstige Fertigung	W
11	Wirkungsgrad des Schraubstocks erhöhen	W
12	Optik und Ergonomie passend für Laboreinsatz	W

Tabelle 3: Anforderungsliste für Weiterentwicklung

Eine Einordnung der Anforderungen in Wunsch (W), Festanforderung (F) und Mindestanforderung (M) hilft, die Anforderungen nach Bedeutung für die Weiterentwicklung einzuordnen.

Es handelt sich bei dem Schraubstock um eine Einzelfertigung. Es wird daher auf eine Kostenkalkulation, wie es bei einer Serienfertigung notwendig wäre, verzichtet.

3.3 Beschreibung der Schraubstock-Struktur

Der aktuelle Entwurf, also die Grundlage dieser Arbeit, besteht aus den Unterbaugruppen Antrieb, Führung, Sensor, Fixierung und Struktur.

Der Rahmen des Schraubstocks umfasst die Grundplatte mit Langlöchern zur Befestigung auf einem Tisch, den Aufnahmeblock für den Sensor und den Aufnahmeblock für die Spindelmutter. Die Blöcke sind jeweils mit Hilfe von zwei Zylinderstiften auf der Grundplatte positioniert und mit jeweils zwei Zylinderschrauben verschraubt. Der Höhenversatz zwischen dem Zentrum der Spindel und dem Zentrum des Sensors wurde durch eine 3mm dicke Unterlegplatte unter den Sensorblock ausgeglichen.

Die Unterbaugruppe Sensor besteht aus einem Kraftmessring KMR 20 der Firma HBM⁵ und zwei gehärteten Unterlegscheiben. Der Sensor befindet sich in einer Bohrung im Sensorblock, diese ist genau so tief, dass ein positiver Versatz zwischen Stirnseite der Unterlegscheibe und Stirnseite des Sensorblocks entsteht. Dieser Versatz beträgt circa 0,5 mm. Da der Nennmessweg des Sensors laut Datenblatt 0,06 mm beträgt, ist dieser Versatz ausreichend. Der Kraftaufnehmer funktioniert nach dem Dehnungsmessstreifenprinzip. Der

⁵ siehe Datenblatt im Anhang

Messbereich des Sensors liegt zwischen 0 und 20 kN. Mit Hilfe eines Analog-Digital-Wandlers wird die axiale Kraft, die auf das eingespannte Werkstück wirkt, umgewandelt und durch den Einsatz der Messsoftware CATMAN EASY angezeigt und somit reproduzierbar gemacht.

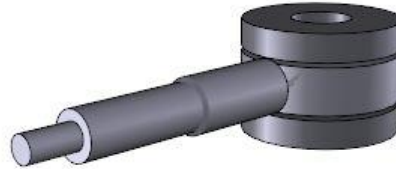


Abbildung 7: KMR Kraftaufnehmer

Das Vorspannen des Sensors erfolgt über zwei Zylinderschrauben, welche sich auf der Hinterseite des Sensorblocks befinden. Wie in der Abbildung zu sehen, liegen auf den Sensorflächen Unterlegscheiben, welche für einen direkten Kraftfluss sorgen.

Die Werkstückaufnahme ist durch einen feststehenden Spannbackenhalter und einen beweglichen Spannbackenhalter realisiert. Die beiden Spannbacken sind nicht identisch, da beide Spannbacken aus Kostengründen von bereits bestehenden Schraubstöcken entnommen wurden. Die feststehende Spannbacke besitzt Aussparungen, welche eine vielseitige Werkstückaufnahme gewährleisten. Die bewegliche Spannbacke ist ebenfalls gehärtet, besitzt allerdings keine Aussparungen.

Die Unterbaugruppe Führung besteht aus zwei - durch Zylinderstifte und Schrauben - auf der Grundplatte angeordneten Flachstäben, deren Oberfläche poliert ist. Wie in Abbildung 8 zu sehen, liegt der Schlitten auf den polierten Oberflächen der Führungsbahnen auf und wird durch eine Verschraubung mit der Schlittenführung positioniert.

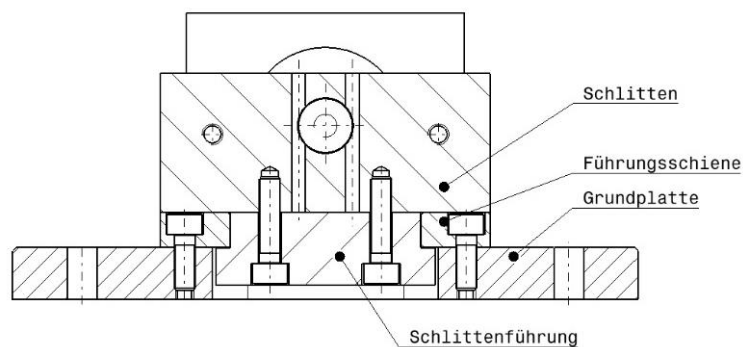


Abbildung 8: Flachführung

Die Umwandlung einer rotatorischen Kraft in eine transversale Kraft erfolgt mit Hilfe eines Trapezgewindes auf der Spindel und der Gewindemutter. Angetrieben wird die Spindel dabei durch einen Drehmomentenschlüssel oder eine Handkurbel, die auf den Sechskant der Spindel aufgesteckt werden. Die Gewindemutter besitzt seitliche Nuten und wird in die Aussparung des Mutterblocks eingesetzt. Anschließend wird die Mutter mit Zylinderstiften, die in die Bohrungen des Mutterblocks eingesteckt werden, positioniert. Die Mutter ist dadurch gegen ein Verdrehen gesichert, aber noch axial verschiebbar. Die Verbindung der

Spindel mit dem Schlitten ist ebenfalls durch Zylinderstifte realisiert. In die Spindel wurde eine umlaufende Nut eingedreht. Die Spindel wird in die Bohrung des Schlittens eingesetzt und ebenfalls mit zwei Stiften, die in die Bohrungen des Schlittens gesteckt werden, verbunden. Die Spindel ist auf beiden Seiten durch ein ähnliches Prinzip gelagert.

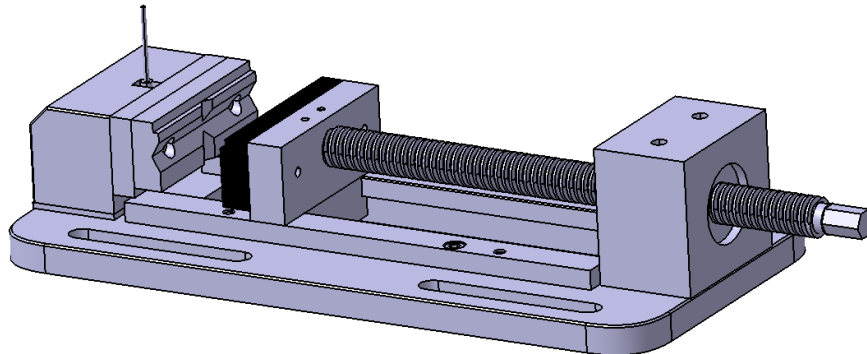


Abbildung 9: Schraubstock Zusammenbau

3.3.1 Cluster des Schraubstocks

Um frühzeitig einen Überblick über die entstehenden Kosten zu bekommen, wurden die Komponenten des Schraubstocks nach den Aspekten Robustheit, Funktionsträger und Kosten geclustert.

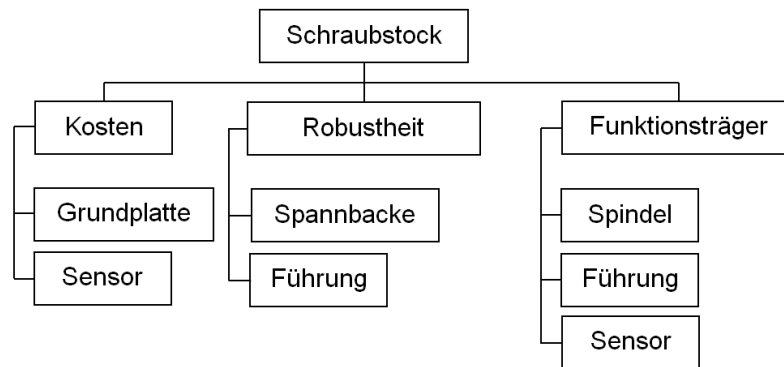


Abbildung 10: Cluster der Komponenten eines Schraubstocks

Das Cluster zeigt, dass die Funktion des Schraubstocks durch eine Spindel/Mutter, die Führung und den Sensor sichergestellt werden. Von besonderer Robustheit beim Spannen von Werkstücken müssen die Spannbacken, aber auch die Führungen sein, da auf diesen der Schlitten bewegt wird. Die größten Kosten beim Realisieren des Schraubstocks entstehen durch das Fertigen bzw. Kaufen von den Komponenten Sensor, Spannbacke und der Grundplatte. Der Sensor inklusive der Messsoftware war schon im MuT-Labor vorhanden. Diese Komponente wäre sonst mit deutlich über 1000 Euro die mit Abstand teuerste Komponente des Schraubstocks. Das Cluster verdeutlicht den Stellenwert z.B. des Sensors, welcher nicht nur mit Abstand die teuerste Komponente darstellt, sondern neben der Spindel für die Funktion des Schraubstockes verantwortlich ist.

Dieses Cluster eignet sich sehr gut, um Komponenten zu identifizieren, die von so großer Bedeutung für den Schraubstock sind, dass diese bei der Weiterentwicklung gesondert betrachtet werden müssen. Denn der Schraubstock soll den grundsätzlichen Aufbau beibehalten und mit überschaubarem Aufwand weiterentwickelt werden. Diese Erkenntnisse beeinflussen die Anforderungsliste der Weiterentwicklung und zählen somit zur Klärung der Aufgabenstellung.

In der folgenden Analyse wird das System in seine zu untersuchenden Komponenten zerlegt. Als Analyseansatz wird die Schwachstellenanalyse gewählt, welche auf mögliche Fehler oder Schwachstellen des Systems hinweist.

3.3.2 Strukturanalyse

Bei der Strukturanalyse wird das System hierarchisch in seine Subsysteme und diese wiederum in seine Elemente unterteilt.

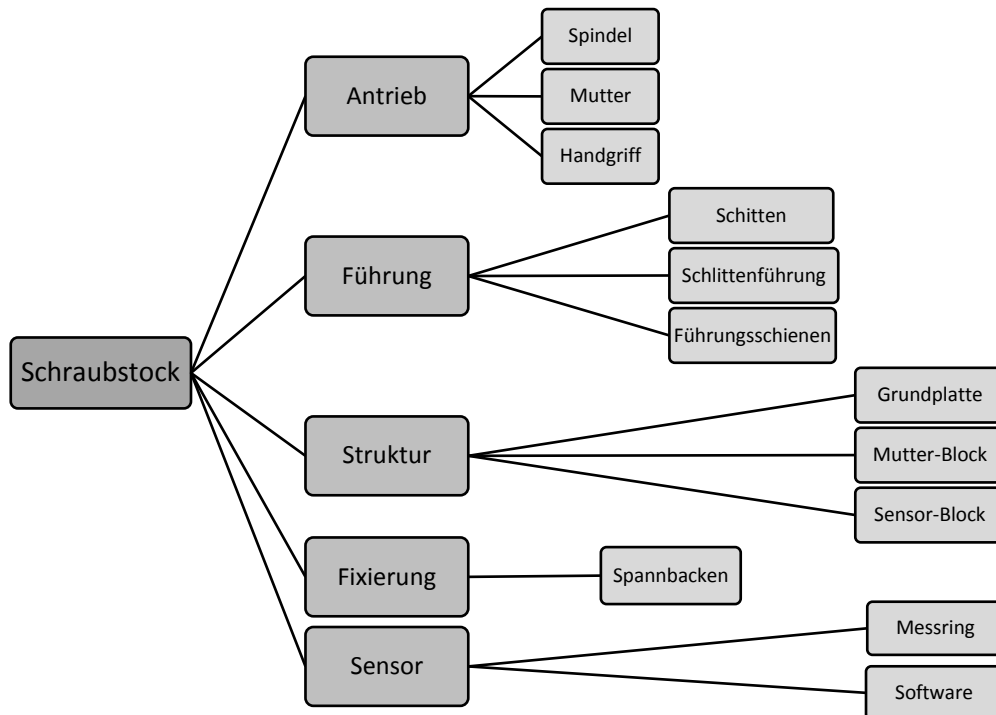


Abbildung 11 : Hierarchische Struktur des Schraubstocks

Der Schraubstock untergliedert sich in fünf Baugruppen, die wiederum mehrere Komponenten umfassen. Aus Gründen der Übersicht wurden die Verbindungselemente wie Schrauben, Unterlegscheiben und Zylinderstifte nicht aufgeführt.

3.3.3 Funktionsanalyse

Bei der Funktionsstruktur wurden, wie im Kapitel 2 beschrieben, Teilfunktionen des Systems bestimmt. Hierfür ist die Strukturanalyse hilfreich. Es wird sich dabei das System ohne eine Baugruppe vorgestellt und anschließend das System analysiert und die Funktion der Baugruppe identifiziert. Würde der Schraubstock zum Beispiel ohne die Baugruppe Sensor

ausgestattet sein, so könnte der Schraubstock zwar den Werkstoff noch klemmen, also seine Hauptfunktion erfüllen, aber die geforderte Teilfunktion, nämlich das Messen der Kraft, und damit die Reproduzierbarkeit wäre nicht mehr gegeben. Wenn diese Methode auf alle einzelnen Teilfunktionen angewendet wird, ergeben sich folgende Teilfunktionen:

- Kraft erzeugen
- Kraft übertragen
- Komponenten bewegen
- Lagern beweglicher Teile
- Führen bewegter Komponenten
- Werkstück fixieren
- Kraft ermitteln
- Kraft anzeigen
- Komponenten zusammenhalten

Um nun auf eine Funktionsstruktur zu kommen, wird das Gesamtsystem Schraubstock funktionsorientiert in die Teilsysteme Antrieb, Sensor, Struktur und Fixierung unterteilt. Diesen Teilsystemen werden die oben aufgeführten Teilfunktionen zugeordnet. Anschließend wird der Kraft- bzw. Energie-, Stoff- und Signalfluss zwischen den Teilfunktionen kenntlich gemacht.

Der Energiefluss bewirkt das Erzeugen einer Kraft, diese Kraft wird übertragen und dadurch beginnen sich Bauteile zu bewegen. Die Teilfunktion „bewegen“ beeinflusst gleich drei weitere Teilfunktionen, nämlich das Führen und das Lagern von beweglichen Teilen und das Zusammenhalten der Komponenten. Durch das Führen und Lagern entsteht eine Verlustenergie, die dem System entzogen wird. Durch das Führen der Bewegung kann das Werkstück fixiert werden. Die Teilfunktion „Werkstück fixieren“ wird nicht nur von Energie durchflossen, sondern durch die Nebenfunktionen „Werkstück aufnehmen“ und „Werkstück freigeben“ von einem Stofffluss beeinflusst. Ist das Werkstück fixiert, kann die Kraft ermittelt werden. Ein Signalfluss zwischen den Teilfunktionen „Kraft ermitteln“ und „Kraft messen“ sorgt für die Messbarkeit der Axialkraft.

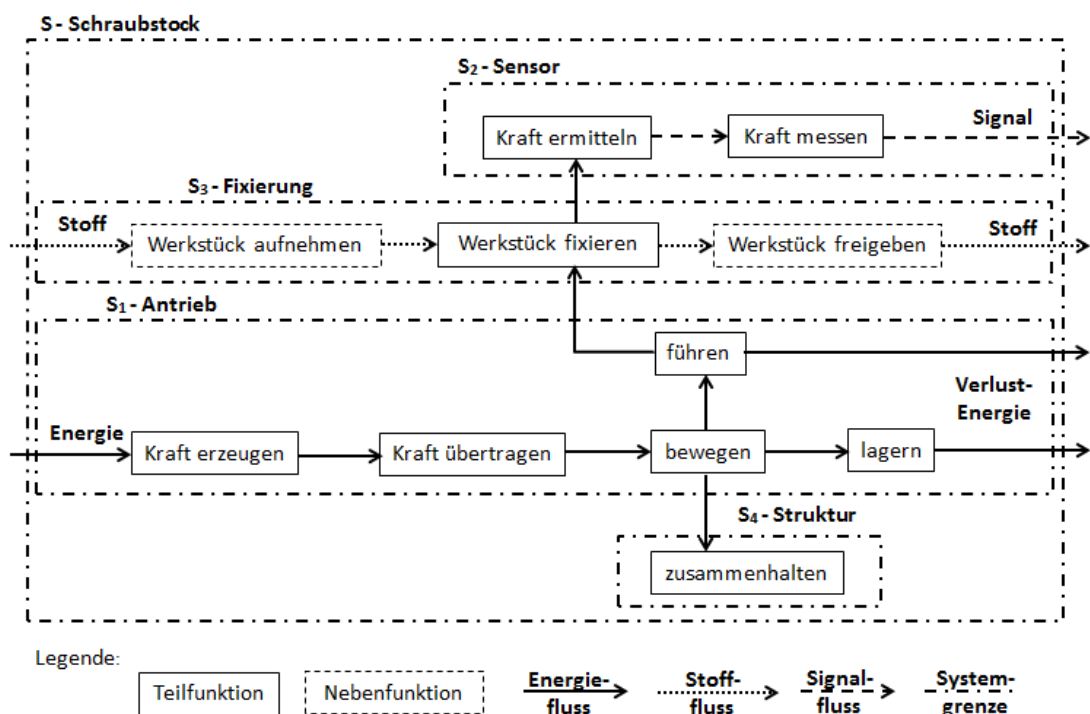


Abbildung 12: Funktionsstruktur

Visualisiert werden kann die Produktarchitektur auch durch eine METUS-Raute⁶ (vgl. Beitz, et al., 2013, S. 257), in der sowohl die Produktstruktur hierarchisch aufgeteilt wird, als auch die Funktionsstruktur von der Gesamtfunktion bis zu den Komponenten dargestellt wird.

Dieses Werkzeug der Konstruktionsmethodik eignet sich zur Ermittlung von Funktionsträgern, also von Komponenten, die eine bestimmte Funktion gewährleisten. Der Funktionsträger ist maßgeblich für die Erfüllung der Funktion erforderlich, dass z.B. für die Teilfunktion „Komponenten bewegen“ nicht nur das Gewinde und die Spindel, sondern auch die Struktur (Grundplatte, Mutter-Block) und die Verbindungselemente (Schrauben, Zylinderstifte) verantwortlich sind, ist logisch. Zur Definition der Funktionsträger einer Teilfunktion sind nur die „aktiv“ beteiligten Komponenten heranzuziehen.

Teilfunktion	Funktionsträger
Kraft erzeugen	Mensch/Motor
Kraft übertragen	Sechskant auf Spindel
Komponenten bewegen	Gewinde
Lagern beweglicher Teile	Zylinderstifte
Führen bewegter Komponenten	Führungsbahn/Schlitten
Werkstück fixieren	Spannbacke
Kraft ermitteln	Sensor
Kraft anzeigen	Software
Komponenten zusammenhalten	Struktur/Verbindungselemente

Tabelle 4: Zuordnung der Funktionsträger zu den Teilfunktionen

3.3.4 Fehleranalyse

Die Bewertung beginnt mit dem Aufstellen von Zielvorstellungen, aus denen sich Bewertungskriterien ableiten lassen. Die Kriterien sind bei der Beurteilung von Lösungsvarianten von großer Bedeutung und müssen daher sorgfältig ausgewählt werden. Die Zielvorstellungen lassen sich aus der Anforderungsliste und aus allgemeinen Bedingungen, siehe Abbildung 3, schlussfolgern. Eine Zielvorstellung umfasst meist mehrere Ziele, die sich aus technischen und wirtschaftlichen Aspekten ergeben. Folgende Voraussetzungen müssen beim Aufstellen von Zielen gegeben sein (vgl. Beitz, et al., 2007, S.183):

- die Ziele sollten alle geforderten Gesichtspunkte berücksichtigen
- die Ziele sollten möglichst unabhängig sein und sich gegenseitig nicht beeinflussen
- die Eigenschaften in Bezug auf die Ziele sollten mit vertretbarem Aufwand erfassbar sein

Aus den formulierten Zielen können direkt Bewertungskriterien abgeleitet werden, welche aus Gründen der späteren Zuordnung zu den Wertvorstellungen positiv formuliert werden sollten.

⁶ Siehe Anhang Metus-Raute Schraubstock

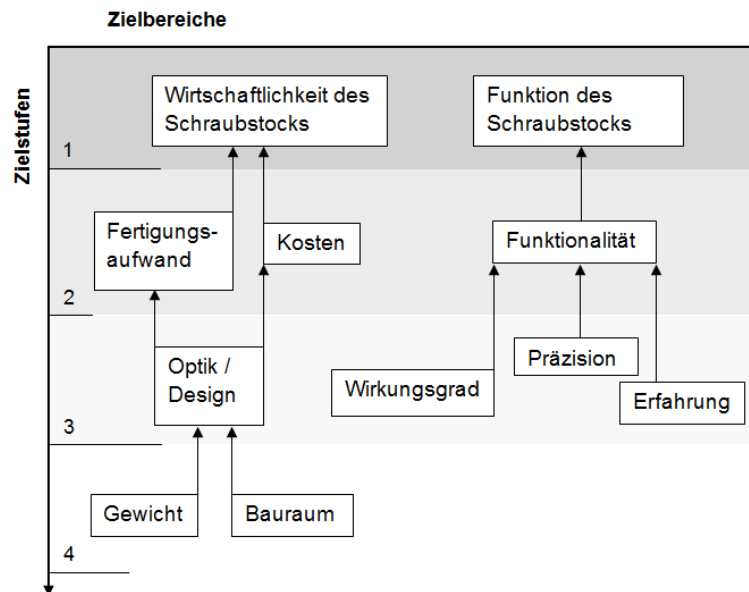


Abbildung 13: Zielsystem der Weiterentwicklung

Um die Schwachstellen des vorhandenen Schraubstocks entdecken zu können, werden die Komponenten aus der Strukturanalyse bewertet. Die Ziele der Weiterentwicklung lassen sich in wirtschaftliche und technische Ziele untergliedern. Die wirtschaftlichen Ziele sind geringer Fertigungsaufwand und geringe Kosten. Die Kosten und der Fertigungsaufwand werden von dem Ziel Optik und Design beeinflusst. Das Gewicht und der Bauraum wiederum beeinflussen die Optik und das Design des Schraubstocks. Ein weiteres Ziel des Schraubstocks ist die Funktion, dieses Ziel wird von dem Ziel der hohen Funktionalität abgeleitet. Die Funktionalität des Schraubstocks wird von den Zielen Wirkungsgrad, Erfahrung und Präzision beeinflusst. Wie in Abbildung 13 zu sehen, entsteht durch die Beziehungen der Ziele eine Zielhierarchie, die sich in unterschiedliche Zielbereiche und verschiedene Zielstufen gliedert.

Wie in der Zielhierarchie zu erkennen ist, sind die Ziele und damit die Bewertungskriterien von unterschiedlicher Bedeutung für die Weiterentwicklung des Schraubstocks. Daher werden diese mit einem Gewichtungsfaktor versehen. Hierfür werden die Bewertungskriterien in eine Einflussmatrix (Kopenhagen, 2014) geschrieben und die Einflüsse der Kriterien untereinander mit 1 für „beeinflusst sich“ und 0 für „beeinflusst sich nicht“ bewertet. Durch die Matrixdarstellung ergeben sich nach dem Ausfüllen eine Aktivsumme und eine Passivsumme. Die Aktivsumme addiert, wie viele Faktoren von dem untersuchten Faktor beeinflusst werden. Die Passivsumme summiert die passiven Beeinflussungen auf die Faktoren. Zur Verdeutlichung ein Beispiel: Der Fertigungsaufwand beeinflusst nur die Faktoren Kosten und Optik/Design aktiv, passiv beeinflusst der Fertigungsaufwand jedoch alle Faktoren mit Ausnahme von dem Gewicht des Schraubstockes.

Einflussmatrix Bewertungskriterien	Bauraum	Kosten	Fertigungsaufwand	Erfahrung	Präzision	Wirkungsgrad	Funktionalität	Optik / Design	Gewicht	Aktivsumme
Bauraum		1	1				1		1	4
Kosten			1		1	1	1	1		5
Fertigungsaufwand		1						1		2
Erfahrung		1	1		1	1	1			5
Präzision		1	1	1		1	1			5
Wirkungsgrad		1	1		1		1			4
Funktionalität		1	1		1	1				4
Optik / Design	1	1	1						1	4
Gewicht	1	1						1		3
Passivsumme	2	8	7	1	4	4	5	3	2	

Tabelle 5: Einflussmatrix der Bewertungsfaktoren

Das zu der Einflussmatrix gehörige Punktediagramm, welches in Abbildung 14 dargestellt ist, verdeutlicht die Wichtigkeit der Bewertungskriterien. Die Kosten haben mit einer Aktiv-/Passivsumme von 5/8 den größten Einfluss. Die Kriterien Präzision und Funktionalität haben mit Aktiv-/Passivsummen von 5/4 und 4/5 den zweitgrößten Einfluss.

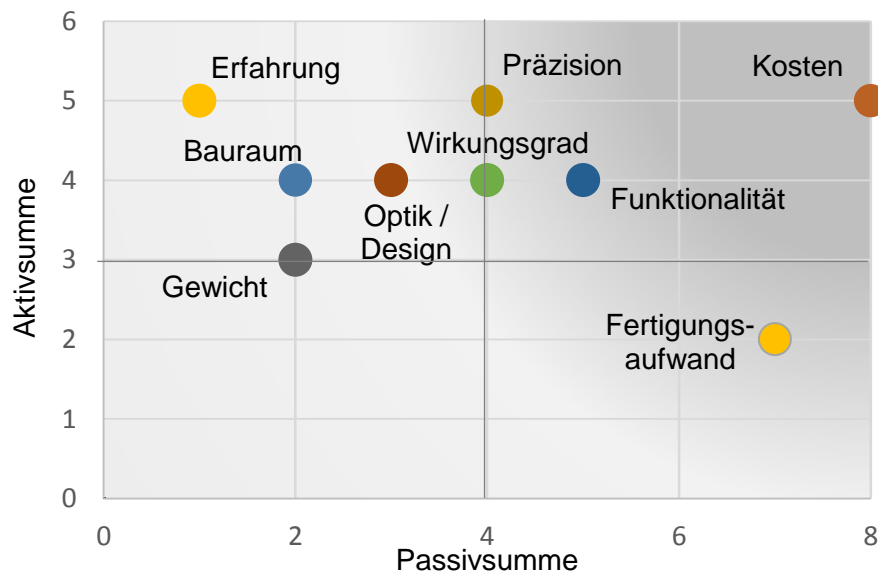


Abbildung 14: Punktediagramm der Bewertungskriterien

Bei der Interpretation der Einflussmatrix können die Einflussfaktoren folgendermaßen klassifiziert werden [3]:

- Die *aktiven Einflussfaktoren*, die sich im rechten unteren Quadranten befinden, haben einen starken Einfluss auf andere Größen, lassen sich jedoch nur unzureichend verändern. In diesem Fall zählt der Faktor Fertigungsaufwand dazu.

- Die *passiven Einflussfaktoren*, die im oberen linken Quadranten angesiedelt sind, besitzen nur eine geringe Einflussstärke, lassen sich selbst aber leicht beeinflussen. Sie sind eher passiv einzuschätzen. Bei dem Schraubstock sind dies Bauraum, Optik/Design und Erfahrung.
- Die *kritischen Einflussfaktoren*, die sich im oberen rechten Quadranten befinden, sind die am stärksten vernetzten Einflussfaktoren. Die Faktoren sind sowohl passiv als auch aktiv und wirken damit maßgeblich auf das Systemverhalten ein. Diese kritischen Faktoren haben einen starken Einfluss auf die Weiterentwicklung und bekommen daher besondere Aufmerksamkeit. Hierzu zählen die Funktionalität und die Kosten.
- Die *trägen Einflussfaktoren*, die in dem unteren linken Quadranten angesiedelt sind, weisen eine schwache Vernetzung auf. Diese Faktoren haben weder aktiv noch passiv nennenswerten Einfluss auf das Systemverhalten. Hierzu zählt bei der Weiterentwicklung des Schraubstocks der Faktor Gewicht.

Aus den ermittelten Aktiv-/Passivsummen werden Gewichtungsfaktoren für die Bewertungskriterien ermittelt. Die Aktiv- und Passivsummen des jeweiligen Faktors werden addiert und durch die maximal mögliche Anzahl geteilt. So entsteht ein Faktor, der als Gewichtung der jeweiligen Faktoren bei der Auswertung der Matrix mit eingerechnet wird. Dieses Verfahren wird in ähnlicher Form bei der Gewichtung nach dem Rangfolgeverfahren (vgl. Beitz, et al., 2013, S.396) angewendet.

Wirtschaftliche Ziele	Bau- raum	Kosten	Fertigungs- aufwand	Optik / Design	Gewicht
Bewertungskriterien (positiv formuliert)	Geringer Bauraum	Geringe Kosten	Niedriger Fertigungs- aufwand	Ansprechendes Design	Geringes Gewicht
Gewichtungsfaktor	0,375	0,8125	0,5625	0,4375	0,3125
Technische Ziele	Präzision	Wirkungs- grad	Funktionalität	Erfahrung	-
Bewertungskriterien (positiv formuliert)	Hohe Präzision	Hoher Wirkungsgrad	Hohe Funktionalität	Hohe Erfahrung	-
Gewichtungsfaktor	0,5625	0,5	0,5625	0,375	-

Tabelle 6: Ziele, Bewertungskriterien und Gewichtungsfaktoren

Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden im Folgenden die Bewertungskriterien ohne die positive Formulierung verwendet.

In der folgenden Tabelle werden die Baugruppen mit einer Punktzahl zwischen 0 und 10 bewertet, wobei 0 schlecht und 10 sehr gut bedeutet, mit dem Ziel die Entwicklungspotentiale des Schraubstocks zu entdecken.

Baugruppe \ Kriterien mit Gewichtung	Antrieb	Führung	Sensor	Struktur	Fixierung
Bauraum	8	7	10	4	9
Kosten	8	9	4	4	8
Fertigungsaufwand	9	6	10	4	3
Erfahrung	9	6	9	8	8
Präzision	8	2	10	8	10
Wirkungsgrad	9	4	9	8	10
Funktionalität	9	4	10	8	10
Optik / Design	8	8	8	8	8
Gewicht	8	8	9	2	9
Summe:	76	54	79	54	75
Bereinigte Summe:	68	46	71	46	67
Summe mit Gewichtung:	34,5	23,4	34,6	28,4	33,6

Tabelle 7: Nutzwertanalyse Baugruppen

Da alle Baugruppen bei dem Kriterium Optik / Design die gleiche Punktzahl erhalten haben, fällt dieses Kriterium aus der Bewertung heraus. Dadurch ergibt sich die bereinigte Summe.

Bei der Bewertung der Baugruppen fällt auf, dass drei der fünf Baugruppen Bewertungen zwischen 67 und 71 von möglichen 80 Punkten erreichen. Werden die Gewichtungsfaktoren berücksichtigt, erreichen diese Baugruppen zwischen 33,6 und 34,6 von 45 möglichen Punkten und können daher mit „gut“ bewertet werden. Das bedeutet, die Baugruppen Antrieb, Sensor und Fixierung sind mit ihren Wirkstrukturen ausgereift.

Die Baugruppen Führung und Struktur erreichen bei einfacher Bewertung 46 von möglichen 80 Punkten, bei gewichteter Bewertung 23,4 bzw. 28,4 von 45 möglichen Punkten und sind damit weniger ausgereift. Es ist sinnvoll, diese Baugruppen näher zu betrachten.

Die Führung hat vor allem bei den Aspekten Präzision, Wirkungsgrad und Funktionalität ihre Schwächen. Die geringe Führungslänge des Schlittens bzw. der Schlittenführung bewirkt zwar eine leichtgängige Verschiebung auf den Führungsbahnen, jedoch hat sie den Nachteil, keine breite Abstützung zu gewährleisten. Dies liegt daran, dass die Komponenten der Führung in der Werkstatt der HAW unter kostengünstigen Gesichtspunkten gefertigt wurden.

Bei der Struktur des Schraubstocks werden vor allem das Gewicht und der Bauraum weniger gut bewertet. Die Anforderungen Präzision, Wirkungsgrad und Funktionalität sind jedoch mit 8 von 10 Punkten als gut bewertet worden. Das Entwicklungspotential bei der Struktur liegt demnach eher in der Geometrie der Bauteile. Bei einer geforderten Gewichtsminimierung wäre dort anzusetzen. Für diese Weiterentwicklung wird die Struktur nicht weiter betrachtet.

Bei einer detaillierten Betrachtung des Schraubstocks fällt auf, dass die Schnittstellen der Baugruppen für die Funktion des Schraubstocks von entscheidender Bedeutung sind. Die Schnittstellen des Schraubstocks sind durch folgende Bauteile realisiert:

- | | | |
|---|---|----------------------------|
| 1. Mutter – Mutterblock | → | Zylinderstifte |
| 2. Sensor – Sensorblock | → | Unterlegscheiben |
| 3. Sensor – Software | → | Kabel |
| 4. Sensorblock – Spannbackenhalter | → | Schrauben |
| 5. Spindel – Handkurbel | → | Sechskant |
| 6. Spindel – Schlitten | → | Zylinderstifte |
| 7. Führungsbahn – Schlitten /
Schlittenführung | → | Schrauben |
| 8. Führungsbahn – Grundplatte | → | Zylinderstifte + Schrauben |
| 9. Sensorblock / Mutterblock –
Grundplatte | → | Zylinderstifte + Schrauben |

Um festzustellen, bei welchen der Schnittstellen ein Verbesserungspotential besteht, werden die Schnittstellen, wie schon die Baugruppen, mit Hilfe der Bewertungskriterien bewertet. Die Schnittstellen 2 und 3 sind von dem Hersteller des Sensors vorgegeben und können vernachlässigt werden.⁷

Schnittstelle Kriterien	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Bauraum	8	-	-	8	9	8	8	8
Kosten	8	-	-	8	7	8	9	6	6
Fertigungsaufwand	8	-	-	8	6	8	9	6	7
Erfahrung	6	-	-	8	8	6	9	8	8
Präzision	2	-	-	4	9	2	8	8	9
Wirkungsgrad	2	-	-	4	8	2	8	8	9
Funktionalität	4	-	-	2	9	4	8	8	9
Optik / Design	6	-	-	6	8	6	8	8	8
Gewicht	8	-	-	8	8	8	8	8	8
Summe ohne Gewichtung:	52	-	-	56	72	52	75	68	72
Summe mit Gewichtung:	35	-	-	28	36	26	38	33	35

Tabelle 8: Nutzwertanalyse Schnittstellen

Die Bewertung der Schnittstellen ergibt Entwicklungspotentiale bei den Schnittstellen 1, 6 und 4, wobei die Schnittstellen 1 und 6 mit jeweils 52 von 80 möglichen Punkten den niedrigsten Reifegrad haben. Unter Berücksichtigung der Gewichtung erreichen diese Schnittstellen 34,5 von 55 möglichen Punkten und sind damit weniger ausgereift als die

⁷ Siehe Datenblatt im Anhang

übrigen Schnittstellen. Auffällig bei diesen Schnittstellen ist die schlechte Bewertung der Präzision und dadurch auch des Wirkungsgrades. Da diese Aspekte jedoch wichtig für die Funktion des Schraubstocks sind, werden diese Schnittstellen genauer analysiert. Da die Schnittstelle 4 ebenfalls bei diesen Aspekten unterdurchschnittlich bewertet wurde, wird diese auch genauer untersucht.

Bei der Schnittstelle Mutter-Mutterblock haben die Zylinderstifte die Aufgabe, die Mutter gegen ein Verdrehen zu sichern. Die seitlichen Nuten in der Mutter sind deutlich breiter als die Zylinderstifte, dadurch kann die Mutter im Mutterblock horizontal verschoben werden. Es entsteht eine „schwimmende“ Lagerung. Bei der jetzigen Konstruktion des Schraubstocks verhindern die Zylinderstifte ein Mitdrehen der Mutter. Die Funktion der Zylinderstifte wurde zweckentfremdet, da die eigentliche Aufgabe von Zylinderstiften das Herstellen einer form- bzw. kraftschlüssigen Verbindung ist. (vgl. Muhs, et al., 2014, S. 300) Hierfür wird eine Passbohrung gefertigt, in welche der Zylinderstift eingepresst wird.

Bei der Schnittstelle 6 stecken die Zylinderstifte in den Bohrungen des Schlittens und verhindern ein horizontales Verschieben der Spindel im Schlitten.

Stiftverbindungen sind einfach herzustellen und daher sehr günstig. Es entsteht jedoch Reibung in der Schnittstelle 6, welche als Energie dem System entzogen wird.

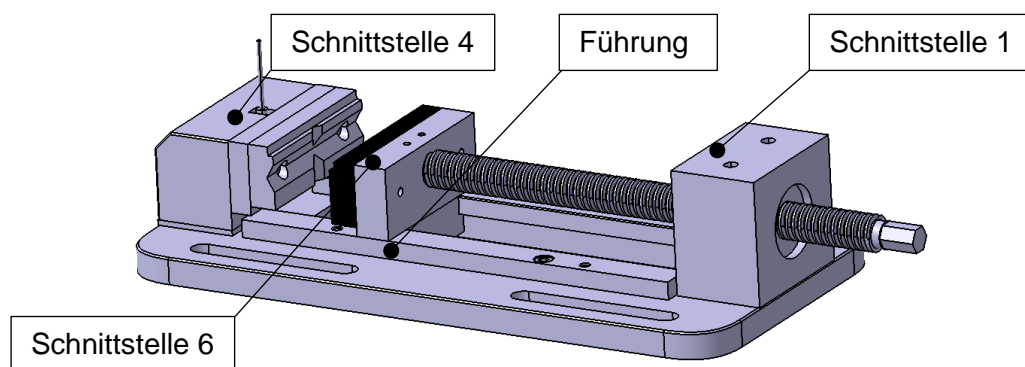


Abbildung 15: Überblick der Schnittstellen

Bei der Schnittstelle 1 geht keine Energie durch Reibung verloren. Werden die beiden Zylinderstifte in die Bohrungen gesteckt, lässt sich der Schlitten nicht mehr gleichmäßig an den Führungsschienen bewegen. Das System verklemmt mechanisch. Der Aufbau mit einer schwimmenden Lagerung der Spindel auf Mutterseite und den Zylinderstiften in der umlaufenden Nut der Spindel sorgt für eine Überbestimmtheit im System. Das Spiel aus dem Bewegungsgewinde und der schwimmenden Lagerung verringert sich mit dem Einspannen eines Bauteils, denn durch das Klemmen eines Werkstücks wird eine Gegenkraft erzeugt, welche schließlich das Bewegungsspiel gänzlich aus dem System entfernt. Bei diesem Aufbau können Biegemomente, welche durch außermittiges Einspannen von Werkstücken hervorgerufen werden, nicht aufgenommen werden. Die Momente werden von der Spannbacke über die Zylinderstifte in die Spindel eingeleitet und unterstützen das mechanische Verklemmen des Systems zusätzlich. Beim Einspannen eines Werkstoffes entsteht bei diesem Aufbau eine Fest-Fest-Lagerung, bei der kleinste Ungenauigkeiten der Konstruktion oder Fertigung eine Einschränkung der Systemeigenschaften veranlassen.

Bei der Schnittstelle 4 ergeben sich die unterdurchschnittlichen Bewertungen der Präzision und damit auch des Wirkungsgrades durch die Vorspannung des Sensors mit Hilfe von zwei Schrauben. Bei diesem Aufbau besteht das Problem, den Sensor nicht gleichmäßig

belasten zu können, da es unmöglich ist, die Schrauben exakt gleich anzuziehen. Bei einer symmetrischen Belastung des Sensors entsteht ein konstanter Verlauf der Druckkraft auf den Sensor. Dieser ist Voraussetzung für eine exakte Messung des Sensors. Die Abbildung 16 soll die beschriebene Problematik verdeutlichen. Der rot dargestellte Druckverlauf symbolisiert die mögliche Belastung des Sensors bei der jetzigen Vorspannung und der blaue Druckverlauf die geforderte Belastung des Sensors.

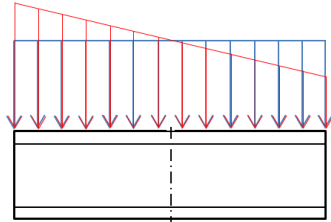


Abbildung 16: Druckkräfte auf den Sensor

3.4 Konzipieren von Lösungsprinzipien

Bei der Analyse des Schraubstocks sind Entwicklungspotentiale sowohl in der Struktur, als auch bei den Schnittstellen festgestellt worden. In diesem Kapitel werden methodisch Lösungsprinzipien und Alternativen zu den Entwicklungspotentialen aus der Fehleranalyse entwickelt.

Bei der Suche nach Lösungsideen können Konstruktionskataloge⁸ zielführend sein. Diese ordnen den Teilfunktionen unterschiedliche Lösungsmethoden zu, aus denen geeignete Methoden mit Hilfe von Auswahlverfahren wie einer Nutzwertanalyse ausgewählt werden können.

Um das Suchfeld nach Lösungsideen zu den Problemen zu vergrößern, ist es hilfreich, Produkte mit ähnlichen Wirkprinzipien zum Schraubstock zu untersuchen. Hierzu zählen:

- Spindelpresse
- Wagenheber
- Schraubzwinde

Alle Produkte realisieren die Bewegung von Bauteilen mit Hilfe einer Spindel. Die Schraubzwinde hat die gleiche Gesamtfunktion wie der Schraubstock, nämlich das Klemmen von Werkstücken. Der Wagenheber hat die Gesamtfunktion „Last heben“ und realisiert diese je nach Bauweise durch eine Gewindespindel. Die Spindelpresse hat verschiedene Einsatzgebiete. Der Aufbau einer Spindelpresse ist jedoch sehr ähnlich zu dem des Schraubstocks.

In der Fehleranalyse sind Entwicklungspotentiale bei folgenden Baugruppen bzw. Schnittstellen entdeckt worden:

Ort:	Prinzip:		Realisierung:
Führung	Flachführung	→	Schlitten, Führungsschienen

⁸ Siehe Anhang A.1

Schnittstelle 1	Fixierung der Mutter	→	Zylinderstifte
Schnittstelle 4	Belastung des Sensors	→	Schrauben
Schnittstelle 6	Lagerung der Spindel	→	Zylinderstifte

Im Folgenden werden Lösungsprinzipien zu den unterschiedlichen Optimierungspotentialen entwickelt.

3.4.1 Führung

Die Führung besitzt sechs Freiheitsgrade, die drei Bewegungsrichtungen und die zu den Richtungen gehörigen Momente. Eine Führung wäre ideal, wenn alle Freiheitsgrade bis auf die Bewegungsrichtung gleich null wären (vgl. Böge, 2015, S.034). Diese ist jedoch in der Praxis nicht möglich, da durch Ungenauigkeiten der Führungsbahn, des Schlittens oder der Positionierung zu Abweichungen der idealen Geometrie bzw. Position führen.

Wie in der Fehleranalyse beschrieben, weist die Führung Schwachstellen bei den Aspekten Präzision, Wirkungsgrad und Funktionalität auf. Dies liegt, wie beschrieben, an den begrenzten Fertigungsmöglichkeiten der HAW-Werkstatt, die sich sowohl auf die Geometrie, als auch auf die Position der Bauteile auswirken. Die Führung übernimmt die Teilfunktion „Führen von beweglichen Bauteilen“.

Zusätzlich zu den Anforderungen an die Weiterentwicklung des Schraubstocks sind für Führungen allgemeine Anforderungen in der Literatur zu finden (vgl. Schmid 2015, S. 294):

- Höchste geometrische und kinematische Präzision
- Leichtgängigkeit
- Gutes Dämpfungsverhalten in Tragrichtung und in Fahrrichtung
- Kein mechanisches oder thermisches Verklemmen
- hohe Bewegungsgüte
- hohe statische, dynamische und thermische Steife
- geringer Verschleiß
- Schutz vor Spänen, gute Ableitung der Späne

Unter Berücksichtigung der zusätzlichen Anforderungen wird der Markt nach vorhandenen Konzepten bei Schraubstöcken und Produkten mit einem ähnlichen Wirkprinzip durchsucht.

Bei Schraubstöcken werden überwiegend Gradführungen verwendet. Zu dieser Führungsart zählen (Schmid, 2015, S.296):

- Flachführung
- Doppelte Rund- oder Säulenführung
- V-Führungen
- Dachführungen
- Schwalbenschwanzführung

Es gibt auch Kombinationen aus den genannten Führungen, wie z.B. V-Flachführungen.

Die Führung von beweglichen Bauteilen kann ebenfalls durch Wälzführungen übernommen werden, hierzu gehören:

- Kugel- oder Rollenumlauf Führungen
- Nadelführungen

- Kugelbüchsenführungen
- Laufrollenführungen

Eine weitere Führungsart sind die Gleitführungen, hierzu zählen (Schmid, 2015, S. 297):

- Hydrodynamische Führungen
- Hydrostatische Führungen
- Aerostatische Führungen
- Magnetische Führungen

Diese Führungsart würde einen zu starken Einfluss auf die Konstruktion des Schraubstocks haben. Deswegen wird diese Führungsart nicht weiter betrachtet.

Im ersten Schritt der Optimierung der Schraubstockführung wird entschieden, welcher Führungstyp für die Weiterentwicklung am besten geeignet ist. Folgende Führungstypen eignen sich generell für die Führung eines Laborschraubstocks:

- Flachführung

Diese Führung ist aktuell im Schraubstock vorhanden. Der Schlitten und die Schlittenführung gleiten dabei zwischen den Führungsschienen.

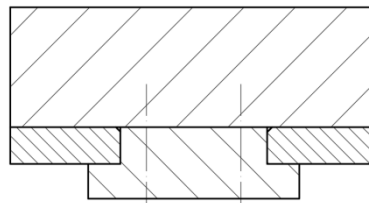


Abbildung 17: Lösungsprinzip Flachführung

- Rundführung

Hierfür wäre ein neuer Schlitten mit eingefassten Gleitbuchsen für die Stangen notwendig. Außerdem müsste die Stangenpositionierung durch die statische Überbestimmung einen Lageausgleich aufweisen, damit der Schlitten klemmfrei auf den Stangen geführt werden kann.

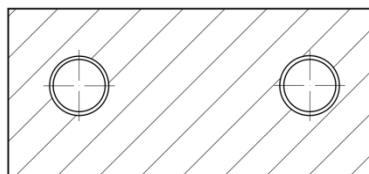


Abbildung 18: Lösungsprinzip Rundführung

- Schwalbenschwanzführung

Bei diesem Lösungsprinzip ist ebenfalls ein neuer Schlitten erforderlich. Da bei dieser Führung die Fertigung sehr genau sein muss, wäre es denkbar, Komponenten der Schwalbenschwanzführung als Kaufteile zu beziehen.

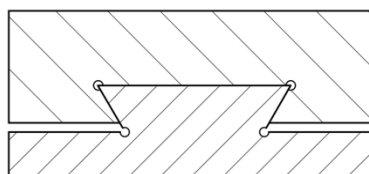


Abbildung 19: Lösungsprinzip Schwalbenschwanzführung

- Laufrollenführung

Diese Variante hat Vorteile gegenüber den genannten Geradfürungen bei den Aspekten Reibung, Geschwindigkeit und Gewicht. Nachteilig ist bei dieser Variante, dass es keine Erfahrungen mit diesem Führungstyp bei Schraubstöcken gibt und die Integration einen großen Fertigungsaufwand bewirken würde.

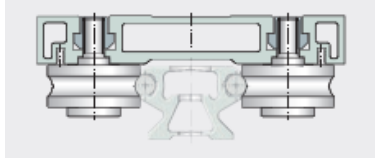


Abbildung 20: Lösungsprinzip Laufrollenführung [4]

Da bereits eine Flachführung verwendet wird, bietet es sich an, diese zu optimieren. Hierdurch würde sich der Aufbau des Schraubstocks kaum ändern und der Fertigungsaufwand wäre sehr gering. Die doppelte Rund- oder Säulenführung wäre bei einer Neukonstruktion eine geeignete Alternative, da die Stangen schon geschliffen gekauft werden könnten. Bei der Weiterentwicklung wäre der Änderungs- und damit Fertigungsaufwand für die Integration der Rundführung zu hoch. Bei einem Einsatz von zwei oder mehr Stangen, ist zu beachten, dass das System dadurch statisch überbestimmt ist. (Schmid, 2015, S.298)

Ähnliches gilt für die Schwalbenschwanzführung. Bei dieser Führungsart können ebenfalls Komponenten gekauft werden, jedoch ist es schwierig, die Abmaße mit denen des Schraubstocks in Verbindung zu bringen. Die Laufrollenführung könnte von den Herstellern mit Führungswagen und passenden Profilschienen gekauft und an den Schraubstock angeschraubt werden. [4]

Das Ziel der Weiterentwicklung der Führung ist es, das Führungsspiel der beweglichen Bauteile zu reduzieren. Dies hat jedoch Auswirkungen auf das Systemverhalten. Bislang gibt es durch das Führungsspiel keinen Verschleiß der aufeinander gleitenden Oberflächen, außerdem ist die Bewegung des Schlittens auf den Führungsschienen leichtgängig und weist daher einen hohen Bedienkomfort auf. Wird das Spiel aus dem System entfernt, treten jedoch Probleme bezüglich des Reibverschleißes und des Bedienkomforts auf. Wie in Kapitel 2.6 bereits erwähnt, können solche Probleme als technische Widersprüche bezeichnet werden, die mit der TRIZ-Methode überwunden werden können. Werden nun die entsprechenden technischen Parameter aus TRIZ ausgewählt und deren Beziehungen in der Matrix nachvollzogen, werden innovative Grundprinzipien vorgeschlagen, mit denen dieser technische Widerspruch bereits gelöst wurde.

Die technischen Parameter nach TRIZ sind bei dieser Problemstellung (Gruppe 3, 2015):

- Leichtgängig → TRIZ - Parameter Nr. 33 - Bedienkomfort
- Führungsgenauigkeit → TRIZ - Parameter Nr. 29 - Fertigungsgenauigkeit

		zu bessernder Parameter	sich verschlechternder Parameter	33
			Bedienkomfort	
		29	Fertigungsgenauigkeit	IGPs: 1, 23, 32, 35

Abbildung 21: Auszug aus TRIZ Widerspruchsmatrix [5]

Wie in Abbildung 21 zu sehen, wurde dieser technische Widerspruch der beiden Parameter mit den innovativen Grundprinzipien (kurz IGP)

- IGP 1 : Prinzip der Zerlegung bzw. Segmentierung
- IGP 23: Prinzip der Rückkopplung
- IGP 32: Prinzip der Farbveränderung
- IGP 35: Prinzip der Veränderung des Aggregatzustandes eines Objektes

bereits gelöst. [5]

Im nächsten Schritt muss entschieden werden, welche Prinzipien für die Lösung des Widerspruchs am geeignetsten sind. Da die Farbänderung keinen Einfluss auf das Systemverhalten hat, wird dieses Prinzip nicht weiter betrachtet, d.h. die IGPs 1, 23 und 35 werden weiterverfolgt. Das Entwicklungspotential der Führung ist die Führungsgenauigkeit, die durch die begrenzte Fertigungsgenauigkeit an der HAW Hamburg bedingt ist. Wird nun aber das Prinzip der Zerlegung bzw. Segmentierung angewendet, kann die geringe Fertigungsgenauigkeit durch ein zusätzliches Element ausgeglichen werden. Ausgleichelemente, die das vorhandene Spiel aus der Führung eliminieren, können z.B. Federn, Passscheiben und Stellschrauben mit Stempeln sein.

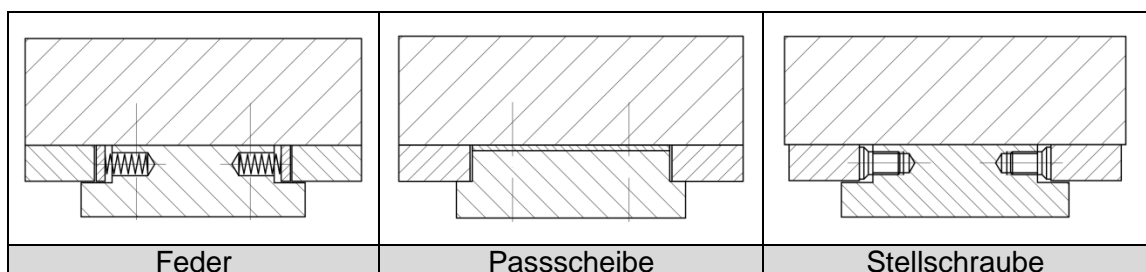


Tabelle 9: Prinzipien zu IGP 1

Durch diese drei Vorschläge wäre es möglich, das Spiel der Führung zu reduzieren. Die gemeinsame Idee dahinter ist die Reduzierung der Freiheitsgrade der Führung.

Bei dem Prinzip der Rückkopplung könnte die Gestalt der Kontaktflächen der Führung variiert werden. Hier wären Fasen an den Führungsschienen und an der Schlittenführung

denkbar. Eine weitere Maßnahme zur Variation der Kontaktflächen wäre die Verlängerung der Führungslänge.

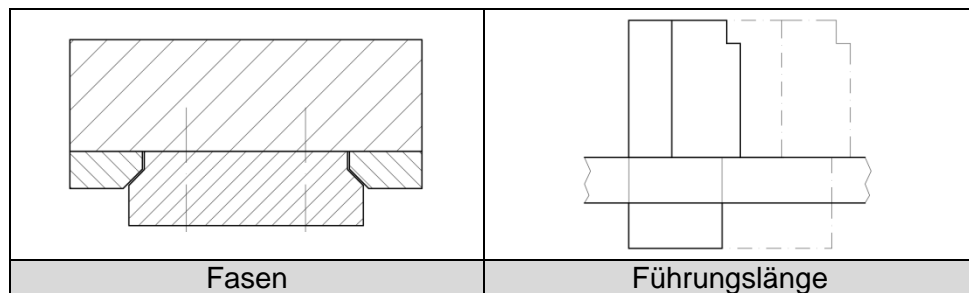


Tabelle 10: Prinzipien zu IGP 23

Die Überwindung des technischen Widerspruchs durch das Prinzip der Veränderung des Aggregatzustandes eines Objekts könnte durch eine Werkstoffänderung realisiert werden. Durch eine Kunststoffbeschichtung der Kontaktflächen könnte das Spiel und die Reibung zwischen den Führungskomponenten reduziert werden. Ebenfalls eignet sich der Einsatz eines Schmiermittels zwischen den Kontaktflächen.

Die Anwendung der TRIZ-Methode auf den technischen Widerspruch ergibt eine Vielzahl passender Prinzipien, welche in diesem Fall kombinierbar sind.

3.4.2 Schnittstelle 1 Mutter-Mutterblock

Wie in der Fehleranalyse beschrieben, hat die Fixierung der Gewindemutter durch Zylinderstifte keine direkte Verschlechterung der Systemeigenschaften zur Folge. Dennoch wirkt der Aufbau nicht hochwertig und ein axiales Spiel der Gewindemutter ist nicht notwendig. Die folgenden Varianten zu dieser Schnittstelle sehen daher nur geringe Veränderungen vor.

- Deckel

Bei dieser Variante wird die bisherige Konstruktion des Schraubstocks beibehalten und nur ein Deckel zur Fixierung der Gewindemutter an den Mutterblock geschraubt.

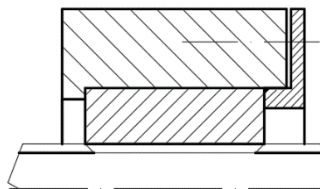


Abbildung 22: Lösungsprinzip Deckel

- Zylinderstift

Hier wird die Lage der Zylinderstifte variiert. Der Aufbau kann ebenfalls unverändert bleiben. Es wären zwei seitliche Bohrungen in Gewindemutter und Gewindemutter-Block zu fertigen. Die Gewindemutter wäre bei diesem Vorschlag spielfrei gelagert.

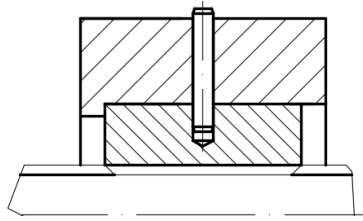


Abbildung 23: Lösungsprinzip Zylinderstift

- Gewindestift

Der Aufbau würde sich ähnlich wie bei den Zylinderstiften ändern, nur müsste in die seitlichen Bohrungen ein Gewinde für den Gewindestift geschnitten werden. Die Mutter müsste nicht gebohrt werden.

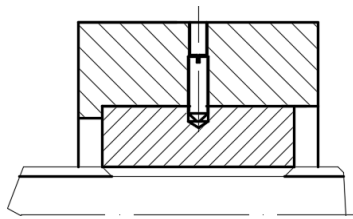


Abbildung 24: Lösungsprinzip Gewindestift

- Geometrie der Außenkontur der Mutter verändern

Die Gewindemutter wird bei dieser Variante z.B. aus einem rechteckigen Werkstück gefertigt und entweder direkt auf die Grundplatte geschraubt oder in einen Mutterblock mit entsprechender Aussparung integriert. Der Fertigungsaufwand wäre bei dieser Option sehr groß und ergibt keinen zusätzlichen Nutzen.

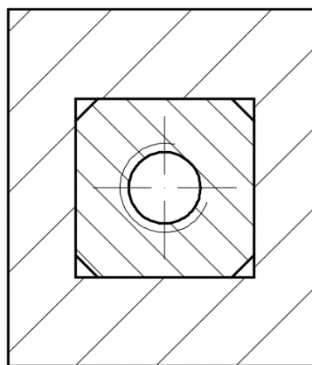


Abbildung 25: Lösungsprinzip Geometrie Mutter ändern

Wie bereits in Kapitel 3.1.1 erwähnt wurde, ist eine methodische Entwicklung einer Vielzahl an Lösungsprinzipien die Variation der Art, Form, Lage, Größe und Anzahl. Für die Schnittstelle 1 könnte diese Variation wie folgt aussehen:

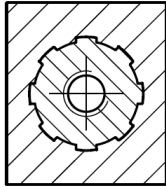
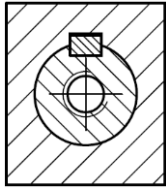
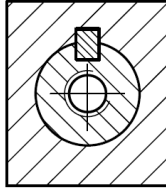
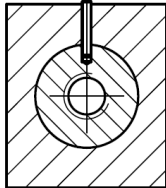



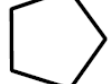
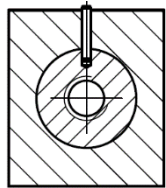
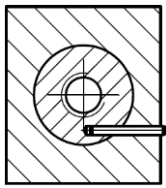
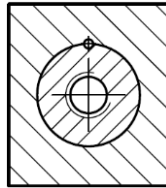
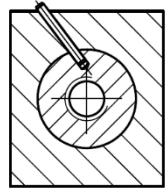




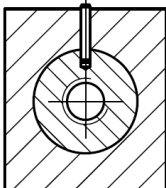
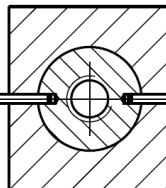
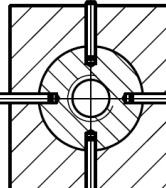
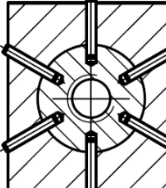
		1	2	3	4
A	Art				
B	Form				
C	Lage				
D	Größe				
E	Anzahl				

Tabelle 11: Variation der Gestalt

Die Art gibt einen Überblick über typische Elemente aus dem Maschinenbau, um die Gewindemutter gegen Verdrehen zu sichern. Bei den folgenden Varianten wird sich auf die Zylinderstifte bezogen. Die Lösungsprinzipien werden mit Hilfe des Morphologischen Kastens aus den jeweiligen Varianten kombiniert. Der favorisierte, gekennzeichnete Entwurf enthält die Varianten A – 4, B – 3, C – 1, D – 3, E – 2.

3.4.3 Schnittstelle 4 Sensorblock-Backenhalter

Bei diesem Optimierungspotential sind viele Parameter der zu findenden Lösung durch die Geometrie des Sensors und des Sensorhalters vorgegeben. Durch die derzeitige Vorspannung des Sensors mit Hilfe von zwei Schrauben wird der Sensor nicht gemäß der Herstellerangaben belastet. Dieser sieht eine Schraube durch die Mitte des Sensors vor. Die Idee hinter der Belastung mit zwei Schrauben ist, dass ein eventuelles Drehen der Spannbacken beim Anziehen der Schraube verhindert wird. Eine gleichmäßige Belastung des Sensors könnte z.B. durch ein Ausgleichselement wie eine Kugel, eine Kugelscheibe oder einen Kegel realisiert werden.

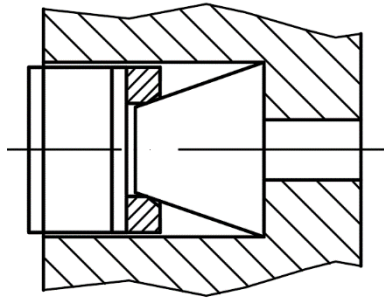


Abbildung 26: Lösungsprinzip Kegel

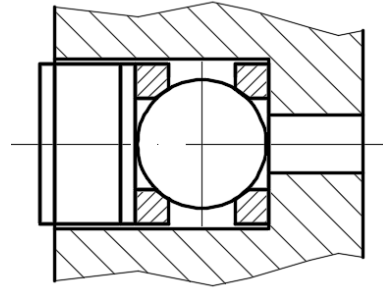


Abbildung 27: Lösungsprinzip Kugel

Das einfachste Lösungsprinzip wäre, den Sensor durch eine mittige Schraube zu belasten. Ohne ein Ausgleichselement wäre der Sensor jedoch bei außermittigem Einspannen eines Werkstückes nicht gleichmäßig belastet.

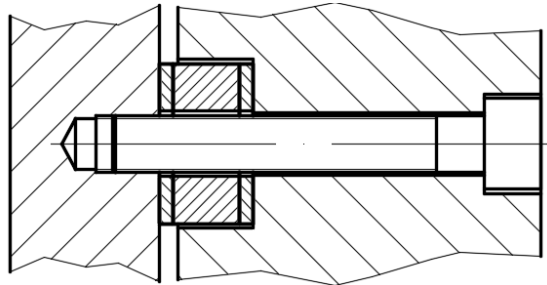


Abbildung 28: Schraube mittig durch Sensor

Bei der Wahl einer Kugel oder eines Kegels, die jeweils mittig hinter den Sensor integriert würden, müsste der Sensor mit zwei Schrauben vorgespannt werden. Bei der Integration eines Ausgleichselements müsste die Nut, in der sich der Sensor befindet, vertieft werden.

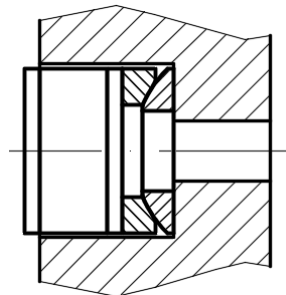


Abbildung 29: Lösungsprinzip Kugelscheibe

Da der Sensorblock großzügig dimensioniert wurde, wäre dies jedoch kein Problem. Die Vorteile der Kugelscheibe sind:

- Geringerer Bauraum als Kugel und Kegel
- Genormte Abmaße passen zur bisherigen Konstruktion (Sensor)
- Aufbau sowohl mit einer als auch zwei Schrauben zur Vorspannung möglich
- Max. Kraftaufnahme ist fast identisch mit der des Sensors
- Gehärtete Oberflächen
- Kostengünstig
- Biegemomente durch außermittiges Einspannen können ausgeglichen werden

Durch die genannten Vorteile der Kugelscheibe ist dieses Lösungsprinzip zu favorisieren.

3.4.4 Schnittstelle 6 Spindel-Schlitten

Die Problemstellung bei dieser Schnittstelle liegt darin, dass bei der bisherigen Konstruktion des Schraubstocks die axiale Kraft der Spindel über Zylinderstifte in den Schlitten eingeleitet wird. Wie bereits erwähnt, haben die Zylinderstifte eine andere Funktion und wurden aus Kosten- und Zeitgründen verbaut. Bei einem Ausbau der Stifte weisen diese erhebliche Beschädigungen der Oberfläche auf, welche einen reibungsfreien Lauf der Spindel zusätzlich hemmen. Für die Entwicklung von Lösungsvarianten wurde zu diesem Thema ein Arbeitsblatt⁹ erstellt, welches in der Lehrveranstaltung MPE2 von den Studenten bearbeitet wurde. Es war gefordert, zu der Problemstellung mindestens zwei Lösungsprinzipien zu entwickeln und anschließend auf dem Arbeitsblatt zu skizzieren. Ferner wurden die Arbeitsblätter zwischen den Studentengruppen getauscht und anhand der vorgegebenen Analyse evaluiert. Ziel dieses Workshops war es, möglichst viele Lösungsideen mit einer objektiven Bewertung zu erhalten. Von insgesamt 34 Lösungsvorschlägen wurde in 10 Prinzipien ein Axiallager zur Übertragen der Kräfte gewählt. Alle weiteren Prinzipien und deren Häufigkeit sind in Abbildung 30 dargestellt.

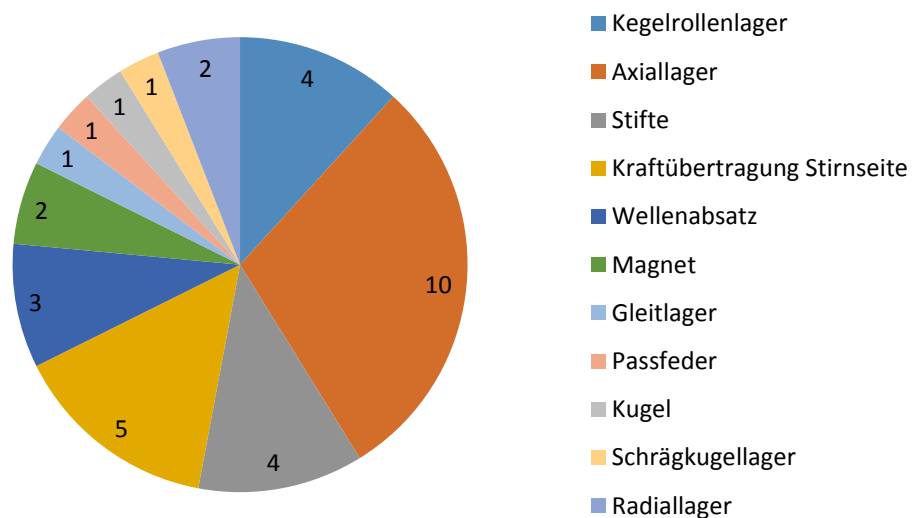


Abbildung 30: Lösungsprinzipien der Schnittstelle 6

Die sechs Lösungsprinzipien mit der besten Bewertung sind in Abbildung 31 abgebildet.

⁹ Arbeitsblatt befindet sich im Anhang

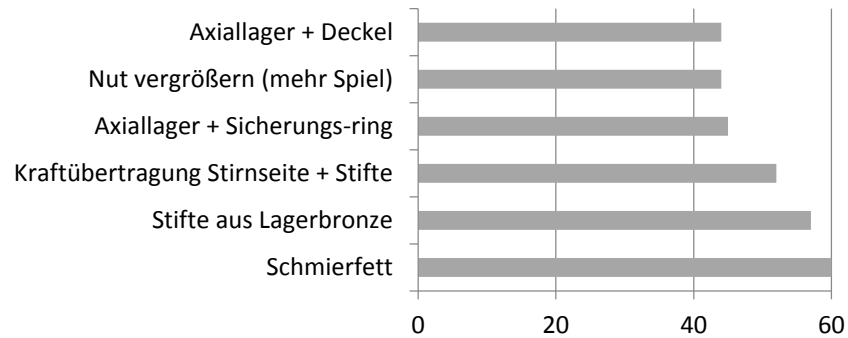


Abbildung 31: Prinzipien mit der höchsten Bewertung

Da dieses Arbeitsblatt aus organisatorischen Gründen innerhalb von 20 Minuten bearbeitet wurde, muss die Bewertung der Prinzipien detaillierter untersucht und unter Umständen angepasst werden. Außerdem werden die Lösungsprinzipien überarbeitet. Zu den am besten bewerteten Vorschlägen zählen „Schmierfett“ und „Stifte aus Lagerbronze“. Bei beiden Vorschlägen wird der konstruktive Aufbau beibehalten und nur das Material getauscht bzw. die Nut mit Schmierfett ausgefüllt. Bei beiden Prinzipien wurde die Reibung des Systems reduziert, das mechanische Verklemmen und damit die Laufeigenschaften der Spindel aber nicht verbessert. Dies müsste bei einer Evaluation der Entwürfe jedoch berücksichtigt werden.

Um die große Menge der Lösungsideen zu filtern, wurden die Prinzipien in eine Auswahlliste eingetragen und evaluiert. Bei dieser Methode werden, wie in Kapitel 2 beschrieben, die Lösungsvarianten anhand von Kriterien bewertet. In diesem Fall wurden nur die Kriterien A bis D bewertet. Das Ziel ist ein frühzeitiges Ausscheiden nicht realisierbarer oder nicht zur Anforderungsliste passender Lösungsideen.

Beurteilen der Lösungsvarianten: (+) ja (-) nein (?) Informationsmangel (!) Anforderungsliste überprüfen	Lösungsvariante	Verträglichkeit gegeben (A)	Forderungen der Anforderungsliste erfüllt (B)	Grundsätzlich realisierbar (C)	Aufwand zulässig (D)	Bezeichnungen	Entscheidung
Entscheiden: (+) Lösung weiter verfolgen (-) Lösung scheidet aus (?) Information beschaffen (Lösung erneut beurteilen) (!) Anforderungsliste auf Änderungen prüfen	1	+	+	+	+	Kegelrollenlager	+
	2	+	+	+	+	Axiallager	+
	3	+	+	+	+	Stifte	+
	4	+	+	+	+	Kraftübertragung Stirnseite	+
	5	-	+	+	-	Wellenabsatz	-
	6	?	?	+	?	Magnet	?
	7	+	-	+	+	Gleitlager	-
	8	+	-	+	+	Passfeder	-
	9	+	+	+	+	Kugel	+
	10	+	-	+	+	Schrägkugellager	-
	11	+	-	+	+	Radiallager	-

Tabelle 12: Auswahlliste zu Lösungsvarianten der Schnittstelle 6

Wie in Tabelle 12 zu sehen, werden die Vorschläge, die Axialkräfte zwischen Spindel und Schlitten zu übertragen, durch folgende Varianten weiterverfolgt:

- Kegelrollenlager
- Axiallager
- Stifte
- Kraftübertragung Stirnseite
- Kugel

Die anderen Vorschläge erfüllen ein oder mehrere Kriterien nicht und werden daher nicht weiter betrachtet. Der Vorschlag, die Kräfte mit Hilfe eines Magnets zu übertragen, bekommt in der Liste den Eintrag „Information beschaffen“. Aus Gründen der unverhältnismäßigen Informationsbeschaffung zu diesem Thema fällt auch diese Idee für die Weiterentwicklung des Schraubstocks weg.

Der Vorschlag, die hohen axialen Kräfte mit einem Axiallager zu übertragen, liegt nahe und wurde deswegen auch von vielen Gruppen gewählt. Durch die Verwendung eines Axiallagers können die hohen axialen Kräfte aus der Spindel in den Schlitten geleitet werden. Ein Axiallager in die Konstruktion des Schraubstocks zu integrieren ist mit hohem Änderungsaufwand verbunden, da ein zum Spindeldurchmesser passendes Axiallager ein Wellenanschlussmaß von 23 mm (vgl. Schaeffler, 2008, S. 821 f.) erfordert und die Spindel mit einem Trapezgewinde (Tr 20x4) dieses Maß nur mit einer zusätzlichen Buchse erfüllen könnte. Ferner ist der Außendurchmesser des Axiallagers mit 28 mm schwierig in den Schlitten zu integrieren, weil dann lediglich 1mm Material an der Oberseite des Schlittens übrig bleiben würden. Es müsste daher ein neuer Schlitten mit angepassten Abmaßen gefertigt oder ein Lagerdeckel mit dem Schlitten verbunden werden. Außerdem kann ein Axiallager nur geringe Radialkräfte und Momente aufnehmen und müsste hierfür eventuell mit einem Radiallager kombiniert werden, was den Änderungsaufwand zusätzlich erhöhen würde.

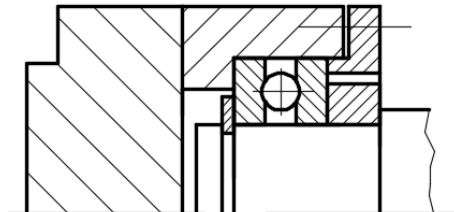


Abbildung 32: Prinzipskizze Axiallager

Der Vorschlag die axialen Kräfte über die Stirnseite der Spindel zu übertragen wurde von fünf Studentengruppen in unterschiedlichen Varianten skizziert. Eine Variante ist in Abbildung 33 abgebildet. Die Schraube hat die Funktion, beim Lösen des Werkstücks den Schlitten und die Spannbacke zurück zu ziehen. Bei diesem Entwurf wird lediglich eine Durchgangsbohrung für eine Zylinderschraube in die Spannbacke und eine Gewindebohrung in die Stirnseite der Spindel ergänzt. Der Änderungsaufwand ist damit als gering einzuschätzen, jedoch ist die Reduzierung der Reibung nicht bzw. nur teilweise verbessert, da die Stirnfläche der Spindel auf der Kontaktfläche der Spannbacke reibt. Eine deutliche Reduzierung der Reibung könnte durch z.B. eine Teflonscheibe realisiert werden. Deutlich aufwendiger wäre eine Härtung der aufeinander gleitenden Bauteiloberflächen oder eine Verbesserung der Oberflächengüte.

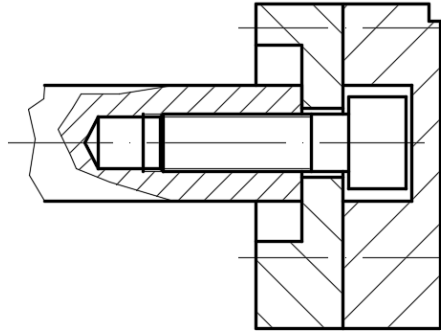


Abbildung 33: Prinzipskizze Kraftübertragung Stirnfläche mit Schraube

Die Variante der Kraftübertragung über die Stirnfläche der Spindel variiert die Ausführung der Rücknahme des Schlittens zum Ausspannen des Bauteils. Diese Funktion ist durch Stifte, Sicherungsringe oder Deckel als Alternative zu der Schraube skizziert.

Ein weiterer Vorschlag, der in den am besten bewerteten Lösungsprinzipien nicht auftaucht, aber nicht umgangen wird, ist ein Kugelgelenk. Der Vorschlag schneidet zwar bei dem Bewertungskriterien wie Änderungsaufwand und Kosten nicht gut ab, löst aber beide Aspekte der Problemstellung, nämlich die Verringerung der Reibung und die Verbesserung der Laufeigenschaften (mechanisches Verklemmen).

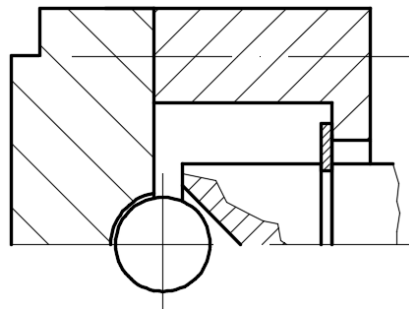


Abbildung 34: Prinzipskizze Kugel

Bei diesem Lösungsprinzip muss die vorhandene Durchgangsbohrung im Schlitten von links aufgebohrt werden, um eine Anschlagfläche für den Sicherungsring zu generieren. Außerdem muss eine Nut für den Sicherungsring und Senkungen für die Kugel in Spannbacke und Spindel hergestellt werden. Die Oberfläche der Kugel muss bei diesem Aufbau gehärtet sein.

Ein änderungsfreundlicher Entwurf der Studenten ist die Vergrößerung der umlaufenden Nut in der Spindel, hierdurch wäre das axiale Spiel an der Schnittstelle größer und der Effekt des mechanischen Verklemmens geringer.

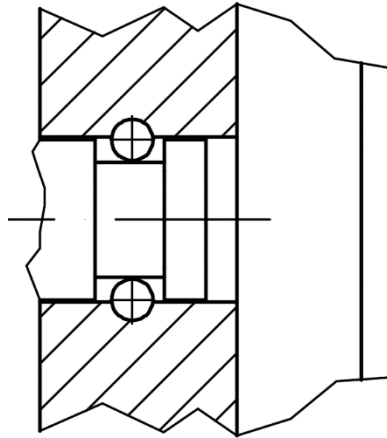


Abbildung 35: Nut vergrößern

Durch zusätzliches Abrunden der Nutform wird die Reibung bei der Übertragung der Kräfte reduziert. Außerdem werden durch das Abrunden der Nut Spannungsspitzen in der Spindel verhindert. Die hohe axiale Kraft wird bei diesem Entwurf weiterhin über die Stifte in die Spannbacke weitergeleitet.

Ein weiterer Lösungsansatz der Studenten war es, ein Kegelrollenlager zur Übertragung der axialen Kräfte einzusetzen. Ähnlich wie die Axiallager haben die Kegelrollenlager den Vorteil der hohen Laufruhe und optimalen Lastverteilung (vgl. Schaeffler, 2008), jedoch sind auch hier die Nachteile eines hohen Änderungsaufwands und schwierig zu realisierender Anschlussmaße zu verzeichnen.

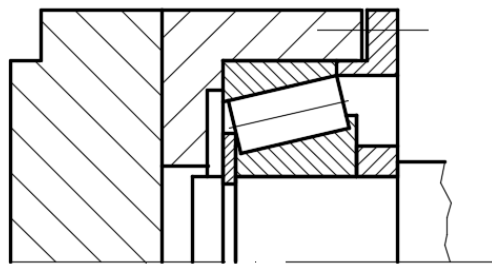


Abbildung 36: Prinzipskizze Kegelrollenlager

Da die Dimensionen eines für den Wellendurchmesser passenden Kegelrollenlagers noch größer sind als die von dem beschriebenen Axiallager, würde eine Integration dieser Lösung in den Schraubstock zu großem Fertigungsaufwand und einem nicht harmonisch wirkenden Gesamtbild führen.

3.5 Entwurf der Weiterentwicklung

Aufgrund der genannten Vor- und Nachteile der Lösungsprinzipien ergeben sich für einige Orte der Entwicklungspotentiale Favoriten. Bei anderen Entwicklungspotentialen weisen die Lösungsprinzipien in ihrem Reifegrad nur geringe Unterschiede auf. Um die Bewertung der Prinzipien nachvollziehbar zu dokumentieren, liegt im Anhang der Arbeit eine ausführliche Bewertungstabelle der Lösungsprinzipien bei. Die Ergebnisse der Bewertung werden in Abbildung 37 dargestellt.

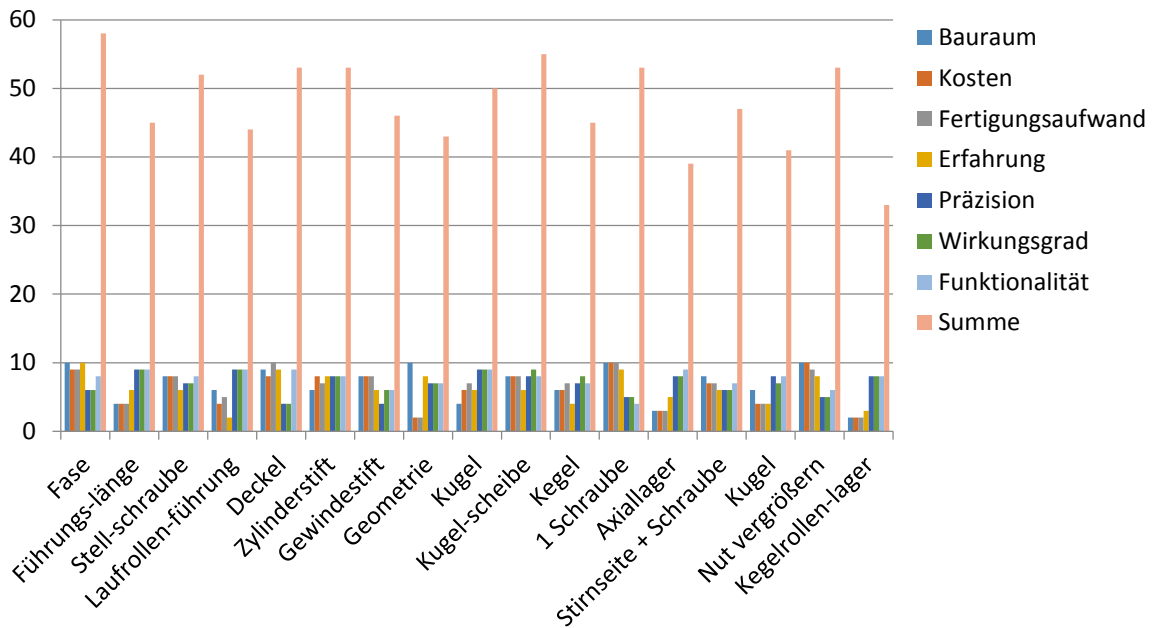


Abbildung 37: Übersicht Bewertung der Lösungsprinzipien

Von den Lösungsprinzipien zu der Führung des Schraubstocks hat die Fase die beste Bewertung erhalten, d.h. die bestehende Führung soll optimiert werden.

Bei der Schnittstelle 1 Gewindemutter-Gewindemutterhalter haben die Lösungsprinzipien Zylinderstifte und Deckel die gleiche Bewertung. Es sind demnach beide Prinzipien zu favorisieren.

Die Schnittstelle 6 Sensorblock-Spannbacke ist die Kugelscheibe zu wählen, da sie deutliche Vorteile gegenüber den anderen Vorschlägen besitzt und die Vorspannung durch eine Schraube ohne Ausgleichselement die beschriebenen Nachteile hat.

Von den Lösungsprinzipien für die Schnittstelle 4 haben die Ideen „Nut vergrößern“ und „Stirnseite + Schraube“ die besten Bewertung, dies liegt vor allem daran, dass diese Varianten nur einen geringen Fertigungsaufwand und damit geringe Kosten verursachen. Bei den Aspekten Wirkungsgrad und Präzision schneiden das Axiallager, Kegelrollenlager und Kugel besser ab.

Bei der Neukonstruktionen oder starken Veränderungen der Optik oder der Funktion eines Produktes ist bei der Verknüpfung von Lösungsprinzipien eine Verträglichkeitsprüfung erforderlich. Da die Veränderungen des Schraubstocks bei der Weiterentwicklung eher gering sind, ist die Konsistenzprüfung in diesem Fall nicht zwingend notwendig. Es wurde bei dem Konzipieren der Prinzipien schon eine Verträglichkeit der Varianten berücksichtigt. Bei der Schnittstelle 4 ist jedoch zu beachten, dass die Varianten Kegel und Kugel nur mit zwei seitlichen Schrauben kombiniert werden können.

Die Varianten der Lösungsprinzipien sind in Tabelle 13 zusammengestellt und werden mit Hilfe des Morphologischen Kasten zu Gesamtentwürfen kombiniert.

Variante	1	2	3	4
Orte der Optimierung				
Führung				
Schnittstelle 1				
Schnittstelle 4				
Schnittstelle 6				

Tabelle 13: Lösungsprinzipien zu den Optimierungspotentialen

Der Morphologische Kasten ist eine Kreativitätstechnik, bei der vorurteilsfrei Varianten zu einem Gesamtdesign kombiniert werden. Auf diese Weise entstehen viele und unterschiedliche Lösungsentwürfe.

In Tabelle 13 sind vier mögliche Kombinationen von Lösungsprinzipien dargestellt.

Entwurf 1

Der erste Gesamtdesign, der mit einer roten Linie gekennzeichnet ist, setzt sich aus den Komponenten „Fase“, „Zylinderstift“, „Kugelscheibe“ und „Kraftübertragung Stirnseite+Schraube“ zusammen.

Vorteile:

- + Geringer Fertigungsaufwand bei allen Prinzipien
- + Geringer Bauraum
- + Flexibilität durch Kugelscheibe
- + Gleichmäßige Belastung des Sensors

Nachteile:

- Reibung Schnittstelle 6
- Unterschiedliche Relativgeschwindigkeiten Schnittstelle 6 an Stirnseite der Spindel

Entwurf 2

Der durch eine grüne Linie dargestellte Gesamtentwurf beinhaltet eine Flachführung mit veränderter Führungslänge, Gewindestifte zur Fixierung der Gewindemutter, eine Schraube für die Vorspannung des Sensors und eine Kugel zur Kraftübertragung zwischen Spindel und Schlitten.

Vorteile:

- + Geringer Fertigungsaufwand bei den Lösungsprinzipien für die Schnittstellen 1 und 4
- + Niedrige Bauraumänderungen bei den Schnittstellen 1 und 4

Nachteile:

- Asymmetrische Belastung des Sensors durch die Verwendung einer Schraube ohne Ausgleichselement
- Hoher Fertigungsaufwand für die Implementierung der Kugel zur Kraftübertragung für die Schnittstelle 6
- Spindelquerschnitt durch Nut für Sicherungsring geschwächt
- Hohe Reibung durch Verlängerung der Führungslänge

Entwurf 3

Die gelbe Linie verbindet die Prinzipien Stellschrauben im Führungsschlitten, Geometrie der Mutter, Kegel und Axiallager zu einem weiteren Gesamtentwurf.

Vorteile:

- + Geringe Reibung durch Axiallager

Nachteile:

- Hoher Fertigungsaufwand durch Bearbeitung der Mutter-Geometrie
- Relativ hoher Bauraumanspruch für das Lösungsprinzip Kegel bei der Schnittstelle 4
- Aufbau nur mit zwei Schrauben zur Vorspannung des Sensors möglich
- Spindelquerschnitt durch Nut für Sicherungsring geschwächt

Entwurf 4

Den letzten der vier dargestellten Gesamtentwürfe bilden die Laufrollenführung, der Deckel zur Fixierung der Gewindemutter, die Kugel zur gleichmäßigen Kraftübertragung bei der Schnittstelle 4 und das Kegelrollenlager zur Übertragung der axialen Kräfte bei der Schnittstelle 6.

Vorteile:

- + Hohe Führungsgenauigkeit durch Laufrollenführung
- + Gleichmäßige Belastung des Sensors

Nachteile:

- Hoher Integrationsaufwand der Laufrollenführung
- Hoher Fertigungsaufwand durch Implementierung der Schwalbenschwanzführung
- Relativ hoher Bauraumanspruch für das Lösungsprinzip Kegel bei der Schnittstelle 4
- Spindelquerschnitt durch Nut für Zylinderstifte geschwächt

Aufgrund der genannten Vor- und Nachteile können die Gesamtentwürfe mit einer Portfolioanalyse ausgewählt werden. Hierfür werden die Gesamtlösungsentwürfe in das

Portfolio mit dem Parameterpaar Funktionalität und Fertigungsaufwand eingetragen. Die Größe der jeweiligen Kreise symbolisiert die mit den Entwürfen verbundenen Kosten.

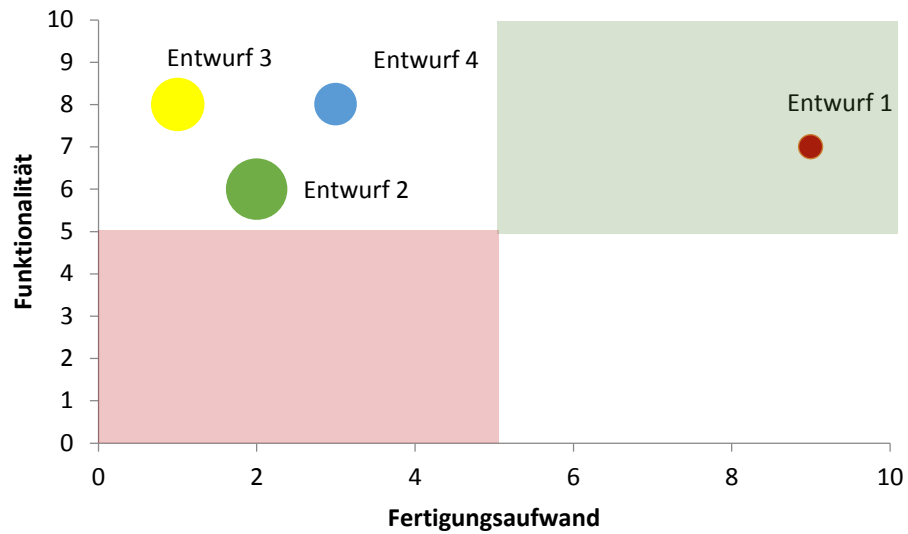


Abbildung 38: Portfolioanalyse der Gesamtentwürfe

Alle Entwürfe haben ein hohes Maß an Funktionalität. Jedoch ist der Fertigungsaufwand unterschiedlich. Die Entwürfe im linken oberen Quadranten sind mit einem hohen Fertigungsaufwand verbunden und haben daher schlechte Bewertungen. Der Entwurf 1 ist in Puncto Funktionalität zwar nicht der beste Entwurf, hat aber im Gegensatz zu den anderen Entwürfen einen geringen Fertigungsaufwand und wird daher weiterverfolgt.

Im nächsten Schritt wird aus den prinzipiellen Lösungen von Entwurf 1 eine detaillierte Konstruktion erstellt und der Entwurf gegebenenfalls angepasst.

3.6 Realisierung der Weiterentwicklung des Schraubstocks

Im Folgenden werden die endgültigen Realisierungen der einzelnen Optimierungen vorgestellt. Die Technischen Zeichnungen befinden sich in der Anlage A.11.

Bei genauerer Betrachtung fällt auf, dass bei der Berechnung der Trapezspindel die umlaufende Nut für die ursprüngliche Lösung mit den Zylinderstiften nicht berücksichtigt wurde. Im Folgenden wird ein Nachweis der übertragbaren Kräfte mit dem kritischen Wellendurchmesser von 11mm durchgeführt. Die ursprünglichen Werte aus der Berechnung der Trapezspindel können übernommen werden, da die Spindel bei der Realisierung der Weiterentwicklung nicht verändert wurde.

Spindelnachweis:

Der folgende Nachweis überprüft, ob durch die Nut die maximal übertragbare Axialkraft des kritischen Querschnitts der Spindel größer als die maximal zulässige Axialkraft des Trapezgewindes ist. Wenn dies nicht zutreffend ist, darf entweder die Spindel nicht mit der Nut verwendet werden oder die maximal übertragbaren Axialkräfte müssen begrenzt werden.

Forderung: $F_{Axial\ max.} > F_{Axial\ zul.}$

Durch die Druckbelastung und Anordnung der Spindel im Schraubstock ist der Knickfall 3 bei der Berechnung der Spindel gültig.

Werte aus der Spindelberechnung mit dem Programm MDesign¹⁰ oder Werkstoffangaben:

$$F_{Axial\ zul.} = 11,59\text{ kN}$$

$$S_K = 3,84$$

$$E_{Stahl} = 2,1 * 10^5\text{ MPa}$$

$$d_{krit.} = 11\text{ mm}$$

$$l_{krit.} = 0,7 * l_{nenn} = 0,7 * 250\text{mm}$$

Die Berechnung von $F_{Axial\ max.}$ erfolgt nach Roloff/Matek Maschinenelemente (Muhs, et al. 2015, S. 278):

$$F_{Axial\ max.} = \frac{d_{krit.}^4 * \pi^3 * E_{Stahl}}{S_K * l_{krit.}^2 * 64} = \frac{11^4 * \pi^3 * 2,1 * 10^5}{3,84 * (0,7 * 250)^2 * 64} = 12,16\text{ kN}$$

$$F_{Axial\ max.} = 12,16\text{ kN} > F_{Axial\ zul.} = 10,59\text{ kN} \quad \checkmark$$

Folglich kann die Spindel unverändert eingesetzt werden.

Solch grundlegende Berechnungen sind vor dem Realisierungsprozess durchzuführen, da eine veränderte Spindel fast alle Optimierungen beeinflusst hätte.

¹⁰ Siehe ursprüngliche Spindelberechnung im Anhang

3.6.1 Realisierung der Führung

Im endgültigen Entwurf der Führung wurden die innovativen Grundprinzipien 1 und 23 integriert. Bei Bedarf kann zusätzlich noch IGP 35 integriert werden. Das Prinzip der Segmentierung (IGP 1) wurde durch das Passelement (Pos. 29) realisiert, welches die Funktion hat, die begrenzten Fertigungsgenauigkeiten auszugleichen. Das Passelement wird mit einer Materialstärke von 1 mm eingebaut und kann je nach Bedarf abgeschliffen werden, um den Luftspalt zwischen Führungsschiene und Schlittenführung zu minimieren. Dieser Luftspalt ist erforderlich, um den Bedienkomfort des Schraubstocks gewährleisten zu können. Ohne Luftspalt würden die Kontaktflächen beschädigt werden und es würde die Gefahr des mechanischen Verklammerns entstehen. Das Prinzip der Rückkopplung (IGP 23) ist durch die Fase an der Führungsschiene und an der Schlittenführung realisiert. Hierdurch wird sowohl das horizontale Führungsspiel, als auch das vertikale Führungsspiel reduziert. Damit das System nicht statisch überbestimmt ist, müssen die seitlichen Flächen der Schlittenführung um 0,1 mm abgeschliffen werden. Wird nach der Bearbeitung der Führungselemente ein noch immer zu hohes Spiel festgestellt, kann mit dem Prinzip der Änderung des Aggregatzustandes eines Objekts, d.h. der Beschichtung der Kontaktflächen durch Kunststoff oder Schmiermittel, eventuell vorhandenes Spiel auf ein Minimum reduziert werden.

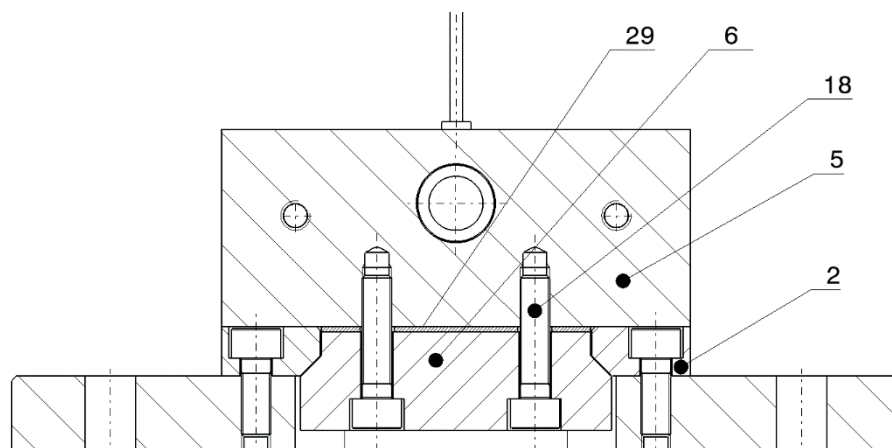


Abbildung 39: Lösung Führung

3.6.1.1 Änderungen

Bei der Realisierung der Weiterentwicklung der Führung ist der Änderungsaufwand gering:

- Fasen an Führungsschiene und Schlittenführung
- Einsatz des Passelements
- Seitliches Abschleifen der Schlittenführung um 0,1 mm

3.6.2 Realisierung der Schnittstelle 1

Die Idee, die Gewindemutter mit Zylinderstiften gegen ein Verdrehen zu sichern, wurde beibehalten. Die Lage der Zylinderstifte wurde verändert. Im ursprünglichen Entwurf des Schraubstocks konnte die Gewindemutter im Gewindemutterblock durch seitliche Aussparungen horizontal verschoben werden. Die Weiterentwicklung dieser Schnittstelle ist, dass durch zwei seitliche Bohrungen in Gewindemutter und Gewindemutterblock, in denen

jeweils Zylinderstifte stecken, die Gewindemutter nicht nur gegen ein Verdrehen, sondern auch gegen ein horizontales Verschieben gesichert ist.

Da die Stifte nur die Funktion der Sicherung der Mutter übernehmen und nur sehr geringen Belastungen ausgesetzt sind, ist es nicht notwendig, die Steckverbindung auf die zulässige Flächenpressung auszulegen. Die Zylinderstifte werden mit einem Durchmesser von 4 mm und einer Länge von 30 mm ausgelegt.

Die zulässige Flächenpressung der Gewindemutter muss jedoch rechnerisch geprüft werden. Hierfür wird nach Roloff/Matek (Muhs, et al. 2015) der zulässige Bereich der Flächenpressung bedingt durch die Werkstoffpaarung zwischen Mutter und Spindel überprüft.

Berechnung der Mutter:

Forderung: $p_M \leq p_{zul}$

Werte des Tr 20x4 (vgl. Fischer, 2005, S. 207)

$$d_2 = 18\text{mm}$$

$$P = 4$$

$$H_1 = 0,5 * P = 0,5 * 4 = 2$$

Gleitpartner (Werkstoff)		p_{zul} in $\frac{N}{\text{mm}^2}$
Schraube (Spindel)	Mutter	
Stahl	CuSn-Leg.	10...20

Tabelle 14: Auszug Gleitpartner (Werkstoff) (Muhs, et al., 2015)

$$p_M = \frac{F_{Axial\ zul.} * P}{l_1 * d_2 * \pi * H_1} = \frac{11,59\text{ kN} * 4}{40\text{mm} * 18\text{mm} * \pi * 2} = 10,25 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$p_M = 10,25 \frac{N}{\text{mm}^2} \text{ liegt im Bereich von } p_{zul} = 10...20 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \checkmark$$

Die Flächenpressung der Gewindemutter durch die Axialkraft liegt somit im geforderten Bereich.

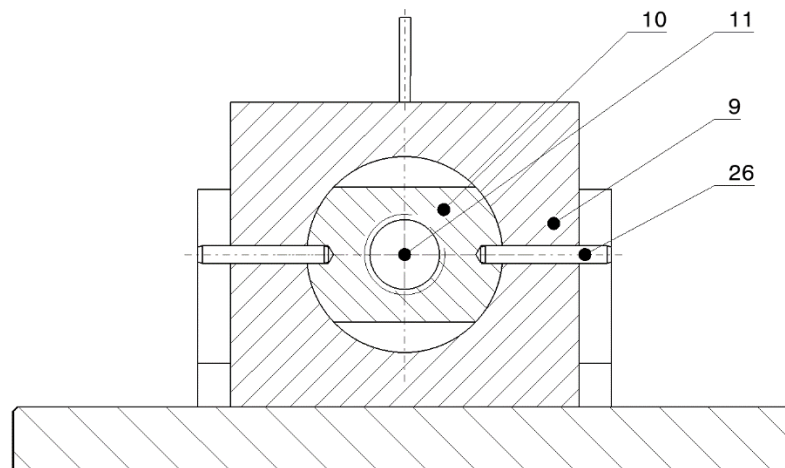


Abbildung 40: Lösung Schnittstelle 1

3.6.2.1 Änderungen

Mit der Realisierung der Weiterentwicklung von Schnittstelle 1 sind folgende Veränderungen an dem Schraubstock erforderlich:

- Zwei seitliche Durchgangsbohrungen in Gewindemutterblock (d=4mm)
- Zwei Sacklochbohrungen in der Gewindemutter (d=4mm)
- Zwei Zylinderstifte ISO 8724 – 4 x 30 – St

3.6.3 Realisierung der Schnittstelle 4

Die ungleichmäßige Belastung des Sensors wird durch die Kugelscheibe, die sich hinter dem Sensor in der Bohrung befindet, ausgeglichen. Laut Datenblatt der Kugelscheibe kann diese einen Winkel von bis zu 3° ausgleichen. Aufgrund der hohen axialen Kräfte wird die einsatzgehärtete Variante der Kugelscheibe gewählt. Durch die vorhandenen Bohrungen im Sensorblock kann den Sensor wahlweise mit einer oder zwei Schrauben vorgespannt werden.

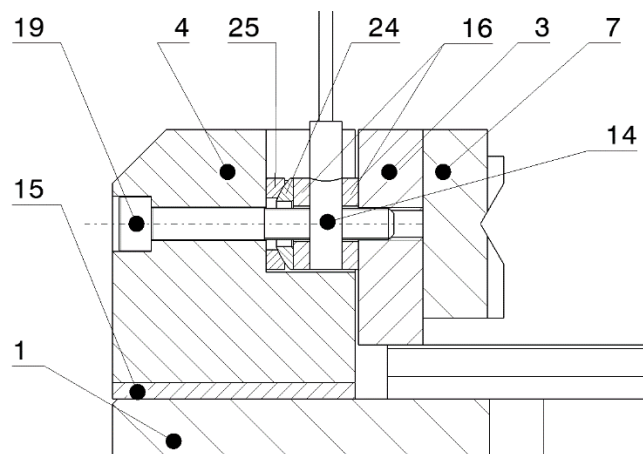


Abbildung 41: Lösung Schnittstelle 4

3.6.3.1 Änderungen

Die Weiterentwicklung der Schnittstelle 6 mit der Kugelscheibe ist nur mit geringen Veränderungen verbunden:

- Einsatz der Kugelscheibe DIN 6319-8,4-C und Kegelpfanne DIN 6319-9,6-D
- Vertiefung der Bohrung / Einfräsung für den Sensor und den Kabelkanal auf 16,5 mm

3.6.4 Realisierung der Schnittstelle 6

Die Lagerung der Spindel in dem Schlitten ist, wie in Abbildung 33 zu sehen, nur mit einem neuen Schlitten zu fertigen. Zur Optimierung des Entwurfs ist die Durchgangsbohrung im Schlitten beizubehalten und die Kraft direkt in die Spannbacke einzuleiten. Hierfür wäre die Senkung für die Zylinderschraube in der Spannbacke zu realisieren. Dadurch verringert sich der Änderungsaufwand der Optimierung auf ein Minimum.

Eine weitere Optimierungsmaßnahme ist die Reduzierung der Reibung bei der Kraftübertragung zwischen der Stirnseite der Spindel und der Spannbacke. Dies ist, wie im optimierten Entwurf zu sehen, durch eine Teflonscheibe realisiert. Teflon ist das umgangssprachliche Wort für Polytetrafluorethylen, kurz PTFE. Dieser teilkristalline Kunststoff besteht aus Fluor und Kohlenstoff. [6] Durch den Einsatz von Teflon verringert sich der Reibbeiwert von $\mu_{S-S} = 0,15$ (Stahl-Stahl) auf $\mu_{S-T} = 0,04$ (Stahl-Teflon). (vgl. Gross, Ehlers, Wriggers, 2008, S.193) Ein weiterer Vorteil der Teflonscheibe ist, dass die Haftreibung genauso groß wie die Gleitreibung ist. Dadurch findet der Übergang zwischen Stillstand und Bewegung ruckfrei statt. Dies ist gerade bei einem Schraubstock eine sehr erwünschte Eigenschaft. Die Teflonscheibe hat jedoch auch einen Nachteil und der ist, dass Teflon eine maximale Flächenpressung von $p_{zul} = 45 \text{ MPa}$ hat. [7]

Berechnung der Flächenpressung an der Schnittstelle 6:

Hierfür wird zunächst die Fläche der Spindelstirnseite berechnet:

$$d_a = 15,5 \text{ mm}$$

$$d_i = 4,92 \text{ mm} \text{ (Fischer 2005, S. 204)}$$

$$A_s = \frac{\pi * (d_a^2 - d_i^2)}{4} = \frac{\pi * (15,5 \text{ mm}^2 - 4,92 \text{ mm}^2)}{4} = 169,68 \text{ mm}^2$$

$$p = \frac{F_{Axial \text{ zul.}}}{A_s} = \frac{11,59 \text{ kN}}{169,68 \text{ mm}^2} = 68,31 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Berechnung der maximal übertragbaren Axialkraft mit der Teflonscheibe:

$$F_{max} = p_{zul} * A_s = 45 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 169,68 \text{ mm}^2 = 7,64 \text{ kN}$$

Die Flächenpressung an dieser Stelle liegt über der zulässigen Flächenpressung von Teflon. Es ist allerdings nicht erforderlich, dass die Teflonscheibe in ihrer Form unverändert bleibt. Die Teflonscheibe wird sich durch die maximalen Belastungen verformen. Die Funktionen der Teflonscheibe, nämlich die Reduzierung der Reibkräfte und der ruckfreie Übergang zwischen Stillstand und Bewegung, können unabhängig davon gewährleistet werden. Bei häufigen hohen Belastungen, d.h. Belastungen über $F_{max} = 7,64 \text{ kN}$, kann die Scheibe problemlos ausgetauscht werden, da hierfür lediglich eine Schraube zu lösen ist.

Berechnung der Reibkräfte:

$$F_R = \mu * F_N$$

$$F_R = \mu_{S-S} * F_{Axial \text{ zul.}} = 0,15 * 11,59 \text{ kN} = 1,74 \text{ kN}$$

$$F_R = \mu_{S-T} * F_{Axial \text{ zul.}} = 0,04 * 11,59 \text{ kN} = 0,46 \text{ kN}$$

Der Einsatz einer Teflonscheibe ergibt demnach eine Reduzierung der Reibungsverluste für diese Stelle von 73,3 %.

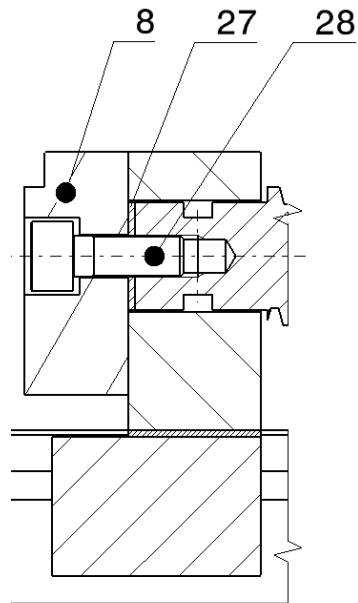


Abbildung 42: Lösung Schnittstelle 6

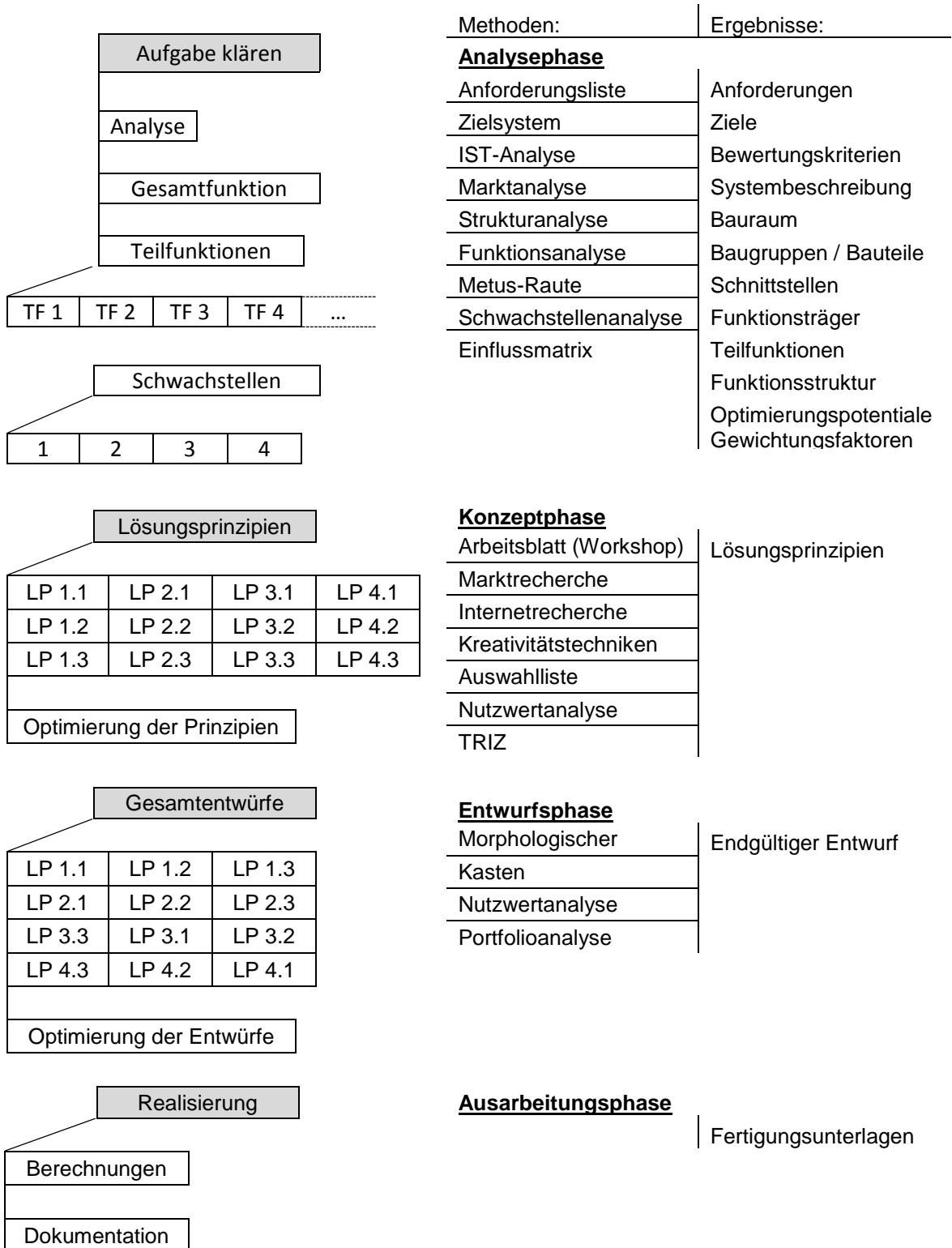
3.6.4.1 Änderungen

Mit der Optimierung der Realisierung der Weiterentwicklung für Schnittstelle 6 sind folgende Änderungen verbunden:

- M6 Gewindebohrung in Stirnseite der Spindel
- Senkung für Zylinderschraube in Spannbacke
- Integration der Teflonscheibe (Pos.27)

3.7 Ablaufschema der Weiterentwicklung des Schraubstocks

Der dargestellte Ablauf der Weiterentwicklung des Schraubstocks ordnet den Projektphasen Arbeitsabschnitte und die in den jeweiligen Arbeitsabschnitten angewendeten Methoden zu. Ferner werden die Ergebnisse der Abschnitte aufgelistet.



3.8 Diskussion der Übertragbarkeit der Entwicklungsschritte des Ablaufschemas der Weiterentwicklung

Die Weiterentwicklung des Schraubstocks fängt wie bei einer Neukonstruktion nach Pahl/Beitz mit der Klärung der Aufgabenstellung an. Wenn bei diesem Arbeitsschritt Probleme auftauchen, kann die Umformulierung der Aufgabenstellung zielführend sein. Dies war in diesem Fall jedoch nicht notwendig. Im nächsten Schritt werden aus der Aufgabenstellung Anforderungen an das Produkt in einer Anforderungsliste festgehalten. Diese Anforderungen sind der Gradmesser während der gesamten Weiterentwicklung und sollten deshalb genau formuliert und durchdacht werden. Anhand der Anforderungen an die Weiterentwicklung können Ziele formuliert werden. Die Ziele werden in Bewertungskriterien überführt, welche bei den Bewertungsverfahren im Laufe des Projektes eingesetzt werden.

Im nächsten Schritt der Weiterentwicklung wird das System analysiert. In diesem Fall konnte die Marktanalyse der Lehrveranstaltung MPE2 genutzt werden, aber je nach Dauer der letzten Entwicklung eines Produktes beziehungsweise der Art des Produktes müssen an dieser Stelle externe Einflüsse auf das Produkt berücksichtigt werden. Externe Einflüsse sind z.B. eventuell geänderte Rahmenbedingungen wie Gesetze, Normen, geänderte Marktsituation, Wettbewerber, technischer Fortschritt und viele weitere Faktoren. Diese Aspekte beeinflussen die Weiterentwicklung maßgeblich und müssen zu Beginn des Projektes feststehen.

Sind die externen Einflüsse definiert, kann das technische System analysiert werden. Bei der Weiterentwicklung des Schraubstocks wurde eine hierarchische Strukturanalyse durchgeführt und den Komponenten Teilfunktionen, die aus der Funktionsanalyse entstanden, zugeordnet. Außerdem wurden Schnittstellen zwischen den Komponenten untersucht. Die Schwachstellenanalyse des Schraubstocks basiert auf der Struktur- und Funktionsanalyse und zeigt Optimierungspotentiale auf. Erst als die Analyse des Schraubstocks abgeschlossen und die Schwachstellen gefunden waren, konnten die Bewertungsfaktoren für die Weiterentwicklung mit Hilfe einer Einflussmatrix bestimmt werden.

Diese Vorgehensweise der Produktanalyse ist ebenfalls für allgemeine Weiterentwicklungen übertragbar. Hier kann je nach untersuchtem System die Analyse angepasst werden. Das Hauptergebnis sollte nach der Analysephase sein, die Komponenten des Schraubstocks in zwei Gruppen klassifizieren zu können. Einerseits Bauteile, die von der Weiterentwicklung nicht oder weniger betroffen sind, und andererseits Komponenten, die im Zuge der Weiterentwicklung verändert werden. Dies ist vor allem bei komplexen Produkten wichtig, um die hohe Anzahl an Modulen in kleinere, lösbare Probleme aufteilen zu können.

In der Konzeptphase der Weiterentwicklung werden Lösungsideen zu den Schwachpunkten des Produktes entwickelt. Bei dem Arbeitsschritt ist die Teamgröße entscheidend, denn viele Kreativitätstechniken nach Pahl/Beitz, wie z.B. Methode 635 oder Brainstorming, sind für eine Gruppe von beteiligten Personen entworfen worden. Ist die Weiterentwicklung wie bei dieser Arbeit einer Person überlassen, hängt der Reifegrad der Weiterentwicklung stark von den Fähigkeiten der einzelnen Person ab. Um dieses Problem einzugrenzen, können Expertenbefragungen oder Workshops veranlasst werden. Hierdurch bekommt der Konstrukteur neue Impulse und Einschätzungen, die den Reifegrad der Entwicklung positiv beeinflussen können. Innerhalb dieser Weiterentwicklung wurde als Suchmethode nach Lösungsideen ein Arbeitsblatt entwickelt, welches von Studenten der HAW Hamburg in der Lehrveranstaltung MPE2 bearbeitet wurde. Die neuen Eindrücke wurden anschließend verarbeitet, ausgewertet und in die Weiterentwicklung eingebracht. Weitere Methoden bei

der Generation von Lösungsideen, die bei der Weiterentwicklung des Schraubstocks und bei allgemeinen Weiterentwicklungen eingesetzt werden können, sind Recherchen. Die Markt-, Literatur- oder Internetrecherchen ergeben eine Vielzahl an Lösungsmöglichkeiten, die anschließend mit Hilfe von Bewertungsmethoden klassifiziert werden. Hierbei können auch Produkte mit ähnlichen Wirkprinzipien untersucht werden. Sind die Lösungsprinzipien gefunden, werden Bewertungs- und Auswahlverfahren angewendet, um die besten Prinzipien herauszufinden. Bei sehr vielen Lösungsideen ist die Auswahlliste eine geeignete Methode, um die Ideen zu filtern. Eine andere angewendete Methode ist die Nutzwertanalyse, welche die Vorschläge anhand der Bewertungsfaktoren bewertet.

Mit dem Ergebnis aus der Konzeptphase, nämlich den Lösungsprinzipien, können Gesamtlösungsentwürfe aus den einzelnen Prinzipien kombiniert werden. Hierfür eignet sich der Morphologische Kasten, durch welchen eine Vielzahl von Gesamtlösungsentwürfen erstellt werden kann. Anschließend werden die Entwürfe wieder bewertet. Da die Lösungsprinzipien jedoch schon einer Nutzwertanalyse unterzogen wurden ist eine Gegenüberstellung der jeweiligen Vor- und Nachteile der Entwürfe ausreichend. Da es sich bei den Entwürfen um Prinzipien oder Grobentwürfe handelt, müssen diese optimiert werden.

In der Phase der Ausarbeitung werden die Grobgestaltungen in Zeichnungen überführt. Für die exakte Dimensionierung werden Berechnungen angestellt und eventuelle Änderungen eingebracht.

Abschließend kann festgestellt werden, dass der aus der Weiterentwicklung abgeleitete Ablauf nur eingeschränkt als allgemeingültig zu bezeichnen ist. Es muss speziell während der Analysephase an das jeweilige Produkt angepasst werden, denn die Grundlagen und Einflüsse aus der Aufgabenstellung für die Weiterentwicklung eines Produktes können sehr unterschiedlich sein. Des Weiteren können Produkthistorie und unternehmerische Ziele den Ablauf einer Weiterentwicklung beeinflussen. Ab der Konzeptphase ist der Ablauf der Weiterentwicklung des Schraubstocks fast identisch zu dem Ablauf der generellen Konstruktion nach VDI 2221 (1993, S. 9) und auf eine Vielzahl an Weiterentwicklung von Produkten übertragbar.

4 Zusammenfassung und Fazit

Die Aufgabenstellung der Bachelorarbeit beinhaltet eine Weiterentwicklung des mechatronischen Schraubstocks mit dem Ziel, ein allgemeingültiges Ablaufschema für die Weiterentwicklung von Produkten zu erstellen.

In der Literatur ist der Begriff der Weiterentwicklung zwar erwähnt, jedoch nicht definiert. Deshalb werden die verschiedenen Konstruktionsarten analysiert und anschließend nach Innovationsgrad klassifiziert. Des Weiteren wird die Veränderung der Funktions- und Produktstruktur der Konstruktionsarten festgestellt.

Bevor der Schraubstock weiterentwickelt wird, müssen aus der Aufgabenstellung Anforderungen und daraus Ziele der Weiterentwicklung abgeleitet werden. Erst wenn diese Anforderungen und Ziele definiert sind, können Bewertungskriterien aufgestellt werden. Da während eines Entwicklungsprozesses sehr viele Entscheidungen getroffen werden müssen, sind diese Kriterien von großer Bedeutung. Bei der Auswahl von Bewertungsfaktoren sind Unterschiede zu berücksichtigen. Die unterschiedliche Bedeutung fließt dabei durch einen Gewichtungsfaktor ein.

Bei der methodischen Weiterentwicklung des Schraubstocks wird der vorhandene Schraubstock detailliert untersucht und analysiert. Hierbei ergeben sich zum einen Schwachstellen bei den Schnittstellen, also den Verbindungen zwischen den Komponenten, und zum anderen bei der Führung des Schraubstocks. Diese Entwicklungspotentiale werden systematisch optimiert. Am Anfang der Optimierung werden generelle Lösungen der Probleme aufgestellt. Bei allen Entwicklungspotentialen des Schraubstocks werden mehrere Lösungsprinzipien generiert. Dies ist je nach Problemstellung mit einem unterschiedlich großen Aufwand verbunden.

Im Verlauf der Arbeit werden vier Entwicklungspotentiale betrachtet:

- Führung
- Schnittstelle 1 Mutter-Mutterblock
- Schnittstelle 4 Sensorblock-Backenhalter
- Schnittstelle 6 Spindel-Schlitten

Bei der Optimierung der Führung des Schraubstocks ist die Suche nach Lösungsprinzipien sehr komplex, da es zu diesem Thema wenig Literatur gibt und die Änderung des Führungstyps eine Vielzahl weiterer Veränderungen bedingt. Dabei ist die Forderung zu berücksichtigen, fertige Bauteile zu kaufen oder in der Werkstatt der HAW zu fertigen. Die Komplexität ergibt sich durch den technischen Widerspruch in der Führung, der darin besteht, dass eine Verbesserung der Führungsgenauigkeit eine Verschlechterung der Leichtgängigkeit der Führung verursacht. An dieser Stelle ist die TRIZ-Methode zielführend, mit deren Hilfe Prinzipien zur Lösung von technischen Widersprüchen vorgeschlagen werden. Mit Hilfe dieser Methode werden verschiedene Prinzipien ausgewählt, die diesen Widerspruch lösen. Das Ergebnis der Optimierung beinhaltet die Fertigung von Fasen an Führungsschienen und Schlittenführung sowie den Einsatz eines Passelements zwischen Schlitten und Schlittenführung zur Korrektur von Fertigungsgenauigkeiten.

Bei der Schnittstelle 1 Fixierung der Mutter im Mutterblock gibt es viele verschiedene Maschinenelemente, die im Maschinenbaustudium ausführlich behandelt werden. Hier ist die Lösungsfindung vergleichsweise einfach und wird durch seitliche Bohrungen in Mutter bzw. Mutterblock für Zylinderstifte realisiert.

Bei der Lösung der Schnittstelle 4 Sensorblock-Backenhalter besteht das Problem darin, den Kraftsensor gleichmäßig zu belasten, um die Messergebnisse nicht negativ zu beeinflussen. Der Kraftsensor ist eigentlich für die Kraftmessung einer Schraubenverbindung vorgesehen, soll jedoch aus Kostengründen weiterverwendet werden. Eine weitere Forderung ist, den Schraubstock nur geringen Modifizierungen zu unterziehen. Dieses Problem wird durch eine Kugelscheibe mit dazugehöriger Kegelpfanne gelöst. Der Sensor kann dabei wahlweise mit einer oder zwei Schrauben vorgespannt werden.

Die Probleme der Schnittstelle 6 Spindel-Schlitten bestehen im mechanischen Verklemmen und der Entstehung von Reibung durch die Lagerung der Spindel im Schlitten. Zur Entwicklung von Lösungsansätzen wird ein Arbeitsblatt entwickelt, welches von Studenten der HAW innerhalb der Lehrveranstaltung MPE 2 bearbeitet wird. In dem Arbeitsblatt wird das Problem der Schnittstelle erläutert. Von den Studenten sollen Lösungsansätze skizziert werden, die anschließend von anderen Studenten bewertet werden sollen. Die Herausforderung besteht darin, die Vielzahl an Lösungsideen zu sichten und mit Hilfe von Bewertungsfaktoren nach Eignung zu klassifizieren. Durch Anwendung einer Auswahlliste bleiben wenige geeignete Lösungsvorschläge übrig, welche anschließend evaluiert werden. Daraus resultierend wird die Lagerung der Spindel im Schlitten durch eine Zylinderschraube modifiziert, die die Spannbacke mit der Spindel verbindet. Die Reibung wird durch den Einsatz einer Teflonscheibe minimiert.

Die nachfolgende Checkliste soll die Umsetzungen der Anforderungen visualisieren.

Checkliste für Weiterentwicklung des Schraubstocks			
Nr.	Benennung	Ein- ordnung	Erfüllungs- status
1	Reproduzierbarkeit der Spannkraft auf 1% genau	M	✓
2	Messbarkeit der Spannkraft auf 0,5% genau	M	✓
3	Axialkräfte bis maximal 11,5 kN übertragbar	F	✓
4	Ablesbarkeit der Spannkraft	F	✓✓
5	Austauschbarkeit der Spannbacken (Größe und Form z.B. zylindrische Bauteile)	F	✓✓
6	Form- und Lagetoleranzen (max. 1° Winkelabweichung der Spannbacken zueinander, ± 0,1 mm Ebenheit der Schraubstockunterseite, ± 0,5 mm Höhendifferenz der Spannbacken)	F	✓✓
7	Fertigung in der Laborwerkstatt oder durch Zukaufteile	F	✓✓
8	Erhöhung der Führungsgenauigkeit	F	✓
9	Weiterverwendung des eingebauten Sensors	F	✓
10	Kostengünstige Fertigung	W	✓
11	Wirkungsgrad des Schraubstocks erhöhen	W	(✓)
12	Optik und Ergonomie passend für Laboreinsatz	W	✓✓

Tabelle 15: Checkliste der Anforderungen

Um den Erfüllungsstatus der Anforderung zu konkretisieren, werden die Anforderungen in drei Gruppen unterteilt:

- ✓ Anforderung wurde durch die Weiterentwicklung erfüllt
- ✓✓ Anforderung war vor der Weiterentwicklung erfüllt und bleibt unverändert
- (✓) Test zur Erfüllung der Anforderung steht aus

Auf Basis der Untersuchung des Schraubstocks wird ein allgemeingültiges Ablaufschema für Weiterentwicklungen erstellt. Darin werden den Projektphasen Arbeitsschritte, Methoden und Ergebnisse zugeordnet.

Die Allgemeingültigkeit ist dahingehend einzuschränken, dass das Schema während der Analysephase an das jeweilige Produkt angepasst werden muss, da die Grundlagen und Einflüsse aus der Aufgabenstellung für die Weiterentwicklung eines Produktes sehr differenziert betrachtet werden müssen.

Ferner wären einem allgemeingültigen Ablaufschema die Projektphasen Fertigung und Test hinzuzufügen.

Diese beiden wichtigen Projektabschnitte sind nicht Bestandteil dieser Arbeit. Die Verbesserung bestimmter Eigenschaften des Schraubstocks kann somit im Rahmen dieser Bachelorarbeit nicht bewertet werden. Hierfür bietet sich ein weiteres Projekt an.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einflussgrößen und Bedingungen beim Entwickeln und Konstruieren.....	13
Abbildung 2: Konstruktionsarten nach Innovationsgrad	15
Abbildung 3: Leitfaden zur methodischen Weiterentwicklung von Bauteilen	16
Abbildung 4: Formale Elemente zur Beschreibung einer Funktion.....	16
Abbildung 5: Formale Beschreibung einer Funktion	17
Abbildung 6: Funktionsstruktur entsprechend dem Substantiv-Verb-Modell	17
Abbildung 7: KMR Kraftaufnehmer	25
Abbildung 8: Flachführung.....	25
Abbildung 9: Schraubstock Zusammenbau	26
Abbildung 10: Cluster der Komponenten eines Schraubstocks	26
Abbildung 11: Hierarchische Struktur des Schraubstocks.....	27
Abbildung 12: Funktionsstruktur	28
Abbildung 13: Zielsystem der Weiterentwicklung.....	30
Abbildung 14: Punktediagramm der Bewertungskriterien	31
Abbildung 15: Überblick der Schnittstellen	35
Abbildung 16: Druckkräfte auf den Sensor	36
Abbildung 17: Lösungsprinzip Flachführung.....	38
Abbildung 18: Lösungsprinzip Rundführung	38
Abbildung 19: Lösungsprinzip Schwalbenschwanzführung.....	38
Abbildung 20: Lösungsprinzip Laufrollenführung [4]	39
Abbildung 21: Auszug aus TRIZ Widerspruchsmatrix [5].....	40
Abbildung 22: Lösungsprinzip Deckel.....	41
Abbildung 23: Lösungsprinzip Zylinderstift	42
Abbildung 24: Lösungsprinzip Gewindestift	42
Abbildung 25: Lösungsprinzip Geometrie Mutter ändern	42
Abbildung 26: Lösungsprinzip Kegel	44
Abbildung 27: Lösungsprinzip Kugel	44
Abbildung 28: Schraube mittig durch Sensor.....	44
Abbildung 29: Lösungsprinzip Kugelscheibe	44
Abbildung 30: Lösungsprinzipien der Schnittstelle 6.....	45
Abbildung 31: Prinzipien mit der höchsten Bewertung.....	46
Abbildung 32: Prinzipskizze Axiallager	47
Abbildung 33: Prinzipskizze Kraftübertragung Stirnfläche mit Schraube.....	48
Abbildung 34: Prinzipskizze Kugel.....	48
Abbildung 35: Nut vergrößern	49
Abbildung 36: Prinzipskizze Kegelrollenlager	49
Abbildung 37: Übersicht Bewertung der Lösungsprinzipien	50
Abbildung 38: Portfolioanalyse der Gesamtentwürfe	53
Abbildung 39: Lösung Führung.....	55
Abbildung 40: Lösung Schnittstelle 1.....	56
Abbildung 41: Lösung Schnittstelle 4.....	57
Abbildung 42: Lösung Schnittstelle 6.....	59

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anforderungen an den Schraubstock.....	21
Tabelle 2: Abstraktionsgrad	22
Tabelle 3: Anforderungsliste für Weiterentwicklung	24
Tabelle 4: Zuordnung der Funktionsträger zu den Teilfunktionen	29
Tabelle 5: Einflussmatrix der Bewertungsfaktoren.....	31
Tabelle 6: Ziele, Bewertungskriterien und Gewichtungsfaktoren.....	32
Tabelle 7: Nutzwertanalyse Baugruppen	33
Tabelle 8: Nutzwertanalyse Schnittstellen	34
Tabelle 9: Prinzipien zu IGP 1	40
Tabelle 10: Prinzipien zu IGP 23	41
Tabelle 11: Variation der Gestalt	43
Tabelle 12: Auswahlliste zu Lösungsvarianten der Schnittstelle 6	46
Tabelle 13: Lösungsprinzipien zu den Optimierungspotentialen	51
Tabelle 14: Auszug Gleitpartner (Werkstoff) (Muhs, et al., 2015).....	56
Tabelle 15: Checkliste der Anforderungen.....	64

Quellenverzeichnis

Literatur

- Böge, A.; Böge, W.(Hg.). 2015: *Handbuch Maschinenbau. Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik* ; mit 424 Tabellen. 22., überarb. und erw. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Ehrlenspiel, K. 2009: *Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit*. 4., aktualisierte Aufl., München: Hanser
- Feldhusen, J.; Grote, K.-H.; Pahl, G.; Beitz, W. (Hg.). 2013: *Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. 8., vollst. überarb. Aufl. Berlin: Springer Vieweg.
- Fischer, U. 2005: *Tabellenbuch Metall*. 43. Aufl. Haan-Gruiten: Europa-Lehrmittel-Verl.
- Schaeffler. 2008: *Wälzlager-Katalog*. 1. überarb. und erw. Aufl. Herzogenaurach: Schaeffler KG
- Kartika, S. 2010: *Methodik zur Analyse des Baukastenpotentials bei bestehender Produktvielfalt*. Techn. Univ., Diss.--Aachen, 2010. Aachen: Shaker (Schriftenreihe Produktentwicklung und Konstruktionsmethodik, 9).
- Kümmerer, R.; Schmid, D. 2015: *Konstruktionslehre: Maschinenbau*. 4., erw. Aufl. Haan-Gruiten: Verl. Europa-Lehrmittel (Bibliothek des technischen Wissens).
- Lindemann, U. 2007: *Methodische Entwicklung technischer Produkte. Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden*. 2., bearbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Lingnau, V. 1994: *Variantenmanagement. Produktionsplanung im Rahmen einer Produktdifferenzierungsstrategie*. Techn. Univ., Diss.--Berlin, 1994. Berlin: Schmidt (Betriebswirtschaftliche Studien, 58).
- Naefe, P. 2012: *Einführung in das Methodische Konstruieren. Für Studium und Praxis*. 2., überarb. u. erw. Aufl. 2013. Wiesbaden: Springer.
- Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H. 2007: *Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung ; Methoden und Anwendung*. 7. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Skolaut, W. 2014: *Maschinenbau. Ein Lehrbuch für das ganze Bachelor-Studium*. Berlin: Springer Vieweg.
- Vajna, S. 2014: *Integrated Design Engineering. Ein interdisziplinäres Modell für die ganzheitliche Produktentwicklung*. Berlin: Springer Vieweg.
- Wittel, H.; Muhs, D.; Jannasch, D.; Voßiek, J. 2014: *Roloff/Matek Maschinenelemente Formelsammlung*. 12., überarb. u. erw. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Wittel, H.; Muhs, D.; Jannasch, D.; Voßiek, J. 2015: *Roloff/Matek Maschinenelemente. Normung, Berechnung, Gestaltung*. 22., überarb. und erw. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg.

- Gross, D.; Ehlers, W.; Wriggers, P. (2008): *Formeln und Aufgaben zur Technischen Mechanik 1. Statik*. Berlin/Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- VDI 2221. 1993: *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- VDI 2222 1997: *Konstruktionsmethodik Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien*. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Meyer-Eschenbach, A.; Rudolz, D. 2014: „*Entwicklung eines Leitfadens zur methodischen Weiterentwicklung von Bauteilen anhand von Praxisbeispielen*“ in: Tagungsband ViP-KT, S. 251-262
- Meyer-Eschenbach, A. 2014: *Lehrveranstaltung Methodische Produktentwicklung 2. WS 2014/15*. Hamburg: Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg (Department Maschinenbau und Produktion), unveröffentlicht.
- Kopenhagen, F. 2014: *Lehrveranstaltung Entwicklungs- und Konstruktionsmanagement*. Foliensatz zur Vorlesung. WS 2014/15. Hamburg: Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg (Department Maschinenbau und Produktion), unveröffentlicht.
- Gruppe 3. 2015: *Lehrveranstaltung Methodische Produktentwicklung 2 Anwendung der TRIZ Matrix*. Foliensatz. WS 2015/16. Hamburg: Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg (Department Maschinenbau und Produktion), unveröffentlicht.

Internet

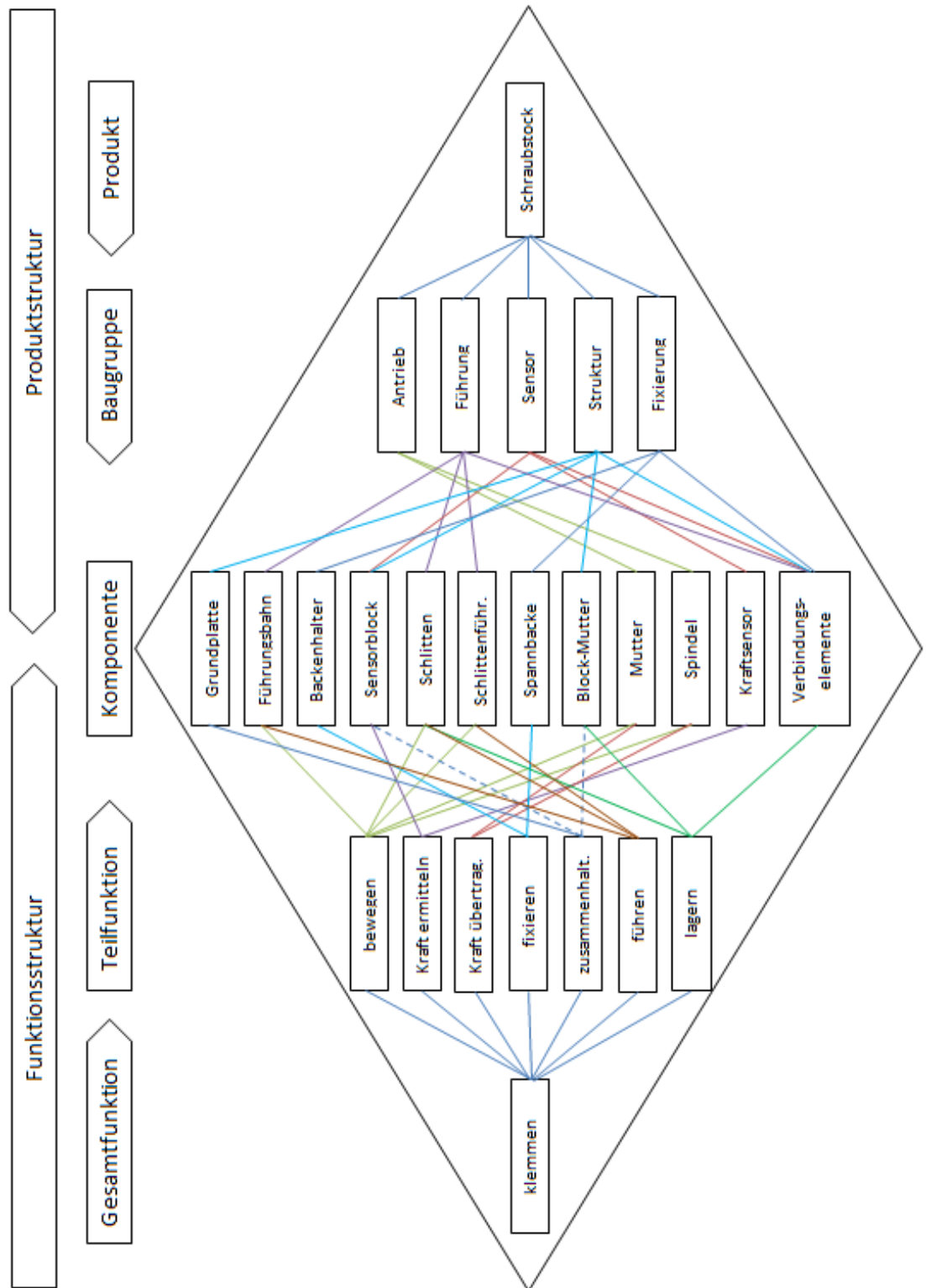
- [1] <https://de.wikipedia.org/wiki/Konstruktionslehre> (Stand: 27.02.2015; besucht am 25.09.2015)
- [2] <https://de.wikipedia.org/wiki/Schraubstock> (Stand: 20.11.2015; besucht am 22.11.2015)
- [3] <https://de.wikipedia.org/wiki/Einflussmatrix> (Stand: 14.03.2013; besucht am 12.10.2015)
- [4] http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/shared_media/0_media_library/01_publications/schaeffler_2/catalogue_1/downloads_6/lf1_de_de.pdf (zuletzt abgerufen am: 05.12.2015)
- [5] www.triz-online.de (besucht am 01.12.2015)
- [6] <https://de.wikipedia.org/wiki/Polytetrafluorethylen> (Stand: 15.12.2015; besucht am 15.12.2015)
- [7] <http://www.fks.ibg-monforts.de/de/daten-a-downloads/ptfe-tlfg-3124.html> (besucht am 15.12.2015)
- [8] <http://www.bulte.de/unterlegscheiben-ptfe> (besucht am 15.12.2015)

Anhang

A.1 Konstruktionskatalog zu Teilfunktionen

Lösungen Teil- Funktionen	1	2	3	4
Kraft erzeugen	Per Hand	Elektrisch	Pneumatisch	Hydraulisch
Kraft übertragen	Sechskant	Passfeder	Keilwelle	Polygon
Bewegen	Gewinde	Zahnräder	Schnecken- getriebe	Hydraulikzylinder
Fixieren	Bewegliche Spannbacken	Fest-/Beweglich	Zange	Magnetisch
Kraft ermitteln	Sensor	DMS	Feder	Messuhr
Zusammenhalten	Gehäuse	Grundplatte	Scheibe	Stützen
Führen	Rund	Flach	Schwalben- schwanz	T-Nut
Lagern	Wellennut	Axiallager	Kugelgelenk	Sicherungsring

A.2 METUS-Raute zum Schraubstock



A.3 Bewertungstabelle der Lösungsprinzipien

	Führung	Führung	Führung	Führung	Führung	Schnittst. 1	Schnittst. 1	Schnittst. 1	Schnittst. 1
	Führung	Führungs- länge	Stell- schraube	Laufrollen- führung	Deckel	Zylinderstift	Gewindestift	Geometrie	
Bauraum	10	4	8	6	9	6	8	10	
Kosten	9	4	8	4	8	8	8	2	
Fertigungsaufwand	9	4	8	5	10	7	8	2	
Erfahrung	10	6	6	2	9	8	6	8	
Präzision	6	9	7	9	4	8	4	7	
Wirkungsgrad	6	9	7	9	4	8	6	7	
Funktionalität	8	9	8	9	9	8	6	7	
Summe	58	45	52	44	53	53	46	43	

	Schnittst. 4	Schnittst. 4	Schnittst. 4	Schnittst. 6	Schnittst. 6	Schnittst. 6	Schnittst. 6	Schnittst. 6	Schnittst. 6
	Kugel- scheibe	Kegel	1 Schraube	Axiallager	Stirnseite + Schraube	Kugel	Nut vergrößern	Kegelrollen- lager	
4	8	6	10	3	8	6	10	2	
6	8	6	10	3	7	4	10	2	
7	8	7	10	3	7	4	9	2	
6	6	4	9	5	6	4	8	3	
9	8	7	5	8	6	8	5	8	
9	9	8	5	8	6	7	5	8	
9	8	7	4	9	7	8	6	8	
50	55	45	53	39	47	41	53	33	

A.4 Aufgabenstellung Bachelorprojekt SoSe 15

HAW Hamburg

Maschinenbau und Produktion

Aufgabenvereinbarung zum Bachelorprojekt

Thema: Optimierung eines mechatronischen Schraubstockes

betreuender Prof: Prof. Mayer Eschenbach

Beginn des Projekts: 24. März 2015 | Ende des Projekts: 03. Juli 2015 | Dauer des Projekts: 15 Wochen

Kurzbeschreibung:

Ein, im Labor vorhandener, Schraubstock mit Kraftmesssensor soll optimiert werden. Hierzu werden verschiedene Phasen erfolgen, die jeweils nach Rücksprache mit dem Auftraggeber beendet werden.

Phase 1: Einführung in das Thema

Phase 2: Vervollständigen des vorhanden Schraubstockes (fehlende Stifte, Schrauben ergänzen), Einführung in die Messtechnik.

Phase 3: Analyse und Dokumentation des bisherigen Schraubstockes. Jeweils optisch, fertigungstechnisch und konstruktiv.

Phase 4: Festlegen der 5 wichtigsten Optimierungsfelder (hier eintragen):

Erstellung des Lastenheftes mit der Anforderungsliste

Phase 5: Neu-/Umkonstruktion des Schraubstockes, Erfassen des Vorher-Nachher Zustandes mit Bildern und Begründungen für die Neu- bzw. Umkonstruktion

Phase 6: Herstellung bzw. Verbesserung der einzelnen Komponenten in der HAW – Werkstatt.

Phase 7: Testen des fertigen Schraubstockes (Haben wir unsere Ziele vom Lastenheft erfüllt?)

Zielsetzung:

Ein funktionsfähiger mechatronischer Schraubstock mit Kraftmesssensor, der sich per Hand auf die gewünschte Krafteinwirkung regulieren lässt. Hierbei sollte der Schraubstock zweckmäßig, konstruktiv und optisch verbessert werden, so dass dieser für den allgemeinen Laborgebrauch verwendet werden kann.

Unterschriften:

Auftraggeber

Team Ansprechpartner 1

Team Ansprechpartner 2

A.5 Datenblatt Kraftaufnehmer

KMR

Kraftmessring für Überwachungsaufgaben

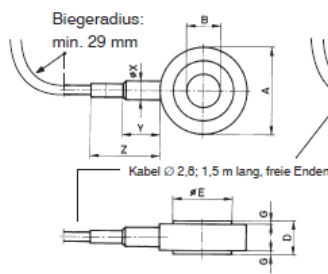
Charakteristische Merkmale

- Messende Unterlegscheibe
- Nennkräfte 20 kN ... 400 kN
- Schutzart IP 67
- Nichtrostender Stahl
- Gute Reproduzierbarkeit

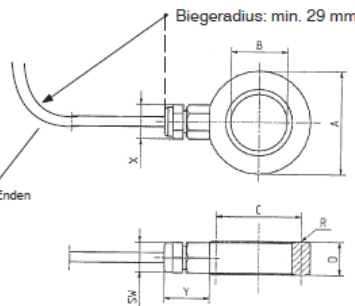


Abmessungen (in mm)

KMR; 20kN, 40kN, 60kN

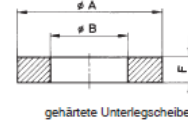


KMR; 100 kN, 200 kN, 300 kN und 400 kN (mit PG-Verschraubung und Kugelradius R)



Kabelbelegung KMR

Belegung	Kabelader-Farbe
Messsignal (+)	weiß
Messsignal (-)	rot
Brückenspeisespannung (+)	blau
Brückenspeisespannung (-)	schwarz
Schirm	gelb



Nennkraft in kN	Ø A _{±0,1}	Ø B ^{+0,1}	C	D	E	F	G	R	X	Y	Z	für Schraube	SW
20	17	6,5	-	6	9	3	0,5	-	ca.6	ca.11,5	ca. 25	M6; 1/4"	-
40	21	8	-	6	13	3	0,5	-	ca.6	ca.11,5	ca. 25	M8; 5/16"	-
60	24	10	-	8	16	4	0,5	-	ca.6	ca.11,5	ca. 25	M10; 3/8"	-
100	26,5	12,7	19,75	10	-	5	-	6	ca.10,5	ca.14,5	-	M12; 1/2"	9
200	31	16	25,5	10	-	6	-	8	ca.10,5	ca.14,5	-	M16; 5/8"	9
300	37	21	31,5	10,5	-	6	-	9	ca.10,5	ca.14,5	-	M20; 3/4"	9
400	46	25	38	12,5	-	8	-	10	ca.10,5	ca.14,5	-	M24; 7/8"	9

Anwendungsbeispiele

Überwachen einer Schraubenvorspannung

Bild 1: Der Verlauf der Vorspannung wird mit einer Wiederholbarkeit von $\pm 1\%$ gemessen.

Überwachen von Kräften

Bild 2: Der Kraftmessring überwacht die eingestellte Tiefzieh-Presskraft mit einer Wiederholbarkeit von $\pm 1\%$.

Bild 3: Überwachen von Seilkräften.

Lieferumfang: Kraftmessring KMR, zwei gehärtete Unterlegscheiben, Montageanleitung

A.6 Arbeitsblatt zur Weiterentwicklung des Schraubstocks MPE 2 WS 15/16

Problemstellung:

Die Spindel ist bisher im Schlitten mit Hilfe von 2 Zylinderstiften gelagert. Hierbei treten Kraftverluste durch Reibung auf. Außerdem führt dieser Aufbau zu einem mechanischen Verklemmen der Führung. Wie kann dieses Problem gelöst werden?

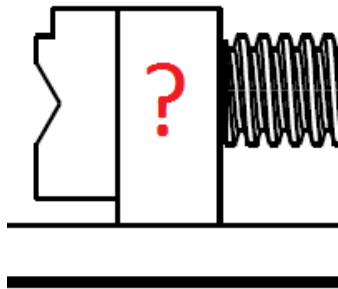
Forderung:

Grundsätzlicher Aufbau des Schraubstocks soll beibehalten werden.

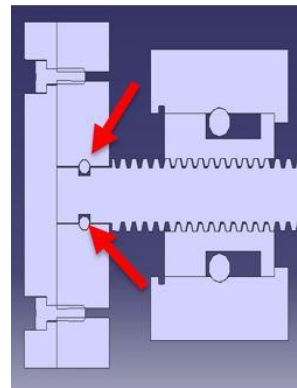
Ablauf:

1. Gruppe erstellt mindestens 2 Lösungsprinzipien
2. Gruppe bewertet die Lösungsprinzipien und erstellt eventuell eine dritte Variante

Lagerung der Spindel im Schlitten



Bisherige Lösung:



Lösungsprinzip 1	Lösungsprinzip 2	Lösungsprinzip 3

ABC-Analyse der Lösungsideen

Bewertungskriterien:	Lösungsprinzip 1	Lösungsprinzip 2	Lösungsprinzip 3
Bauraum			
Kosten			
Fertigungsaufwand			
Änderungsaufwand			
Wirkungsgrad			
Erfahrung			
Funktionalität			
SUMME:			

10 = sehr gut	0 = schlecht
---------------	--------------

→ A: _____

B: _____

C: _____

A.7 Ergebnisse der Wellenberechnung MPE2 WS 14/15

Bewegungsschrauben			
Längskraft in der Spindel		F :	N
Eingeleitetes Drehmoment		T :	30 N*m
Länge der Spindel		l =	300 mm
Kerndurchmesser		d3 :	15,5 mm
Länge des Muttergewindes		l1 :	45 mm
Zul. Gewindeflankenpressung		pzul =	10
Verlangte Sicherheit		S =	1
Werkstoff		St60	▼
Zul. Druck- / Zugspannung		σ_{dzzul} =	90
Zul. Torsionsspannung		t_{zul} =	70
Anstrengungsverhältnis		α_o =	0,7
Knickfall nach Euler			3
Lastfall		Lastfall 1	▼
Gewindereibungswinkel		ρ_G =	12 °
Gangzahl der Spindel		n =	1
Gewindeart		Trapezgewinde	▼
Reibungszahl im Lager		μ_l :	0
Mittlerer Reibradius des Lagers		r _m :	0 mm

Ergebnisse:

Metrisches ISO-Trapezgewinde DIN 103 - Tr 20 x 4

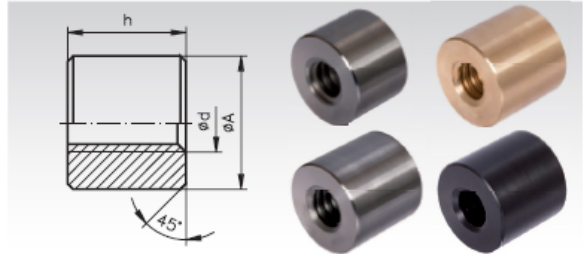
Gewindenormdaten:

Nenndurchmesser	dnenn =	20	mm
Kerndurchmesser	d3 =	15,5	mm
Flankendurchmesser	d2 =	18	mm
Steigung	p =	4	mm
Flankenüberdeckung	h1 =	2	mm
Längskraft in der Spindel	F =	11,59	KN
Torsionsspannung	t _t =	40,28	N/mm ²
Vergleichsspannung	σ_v =	78,47	N/mm ²
Knickspannung	σ_k =	301,4	N/mm ²
Sicherheit gegen Knicken	S _k =	3,84	
Wirkungsgrad beim Arbeitshub	eta =	0,25	
Unelastische Knickung:			
Schlankheitsgrad	λ =	54,19	
Selbsthemmung vorhanden !			
Gewindeflankenpressung	p _{vorh} =	9,11	N/mm ²

A.8 Auszug aus Datenblatt Gewindemutter

Runde Muttern mit metrischem ISO-Trapezgewinde DIN 103, eingängig

Werkstoffe: Stahl C35Pb.
Edelstahl 1.4305.
Rotguss Rg7 (GC-CuSn7ZnPb).
Kunststoff (PA6.6 mit MoS2).



Bestellangaben: z.B.: Art.-Nr. 643 010 00, runde Mutter, Stahl, Tr. 10 x 3, eing. rechts

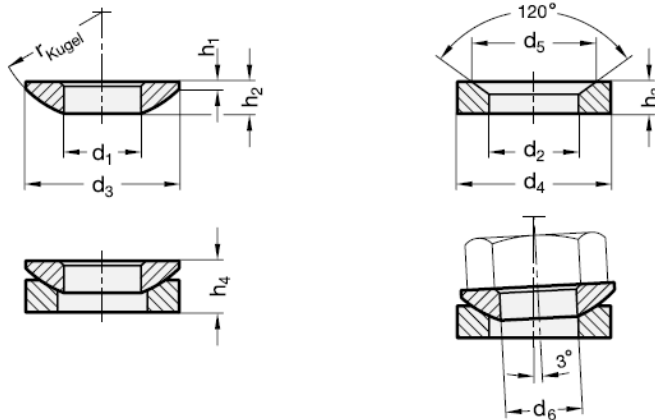
Eingängig rechts

Artikel-Nr. Stahl	Artikel-Nr. Stahl	Artikel-Nr. Edelstahl rostfrei	Artikel-Nr. Rotguss	Artikel-Nr. Kunststoff	Trapez- gewinde Ø d mm	DIN ISO 2768m h=1,5xd mm	DIN ISO 2768m h=2xd mm	DIN 668 ØA ^{h11} * mm	Gewicht Stahl 1,5 x d kg	Gewicht Stahl 2 x d kg	Gewicht Rotguss 2 x d kg	Gewicht Kunststoff 2 x d kg
h = 1,5 x d	h = 2 x d	h = 1,5 x d	h = 2 x d	h = 2 x d								
643 010 00	643 210 00	-	643 310 00	-	10 x 3**	15	20	22	0,04	0,06	0,06	-
643 012 00	643 212 00	643 990 12	643 312 00	643 412 00	12 x 3	18	24	26	0,06	0,08	0,1	0,02
643 014 00	643 214 00	-	643 314 00	-	14 x 4**	21	28	30	0,1	0,12	0,14	-
643 016 00	643 216 00	643 990 16	643 316 00	643 416 00	16 x 4	24	32	36	0,16	0,22	0,24	0,04
643 018 00	643 218 00	-	643 318 00	643 418 00	18 x 4	27	36	40	0,22	0,32	0,37	0,05
643 020 00	643 220 00	643 990 20	643 320 00	643 420 00	20 x 4	30	40	45	0,32	0,42	0,5	0,06
643 024 00	643 224 00	643 990 24	643 324 00	643 424 00	24 x 5	36	48	50	0,44	0,6	0,7	0,08
643 028 00	643 228 00	643 990 28	643 328 00	643 428 00	28 x 5	42	56	60	0,76	1,0	1,12	0,14
643 030 00	643 230 00	643 990 30	643 330 00	643 430 00	30 x 6	45	60	60	0,78	1,06	1,2	0,16
643 032 00	643 232 00	-	643 332 00	643 432 00	32 x 6	48	64	60	0,8	1,08	1,2	0,16
643 036 00	643 236 00	643 990 36	643 336 00	643 436 00	36 x 6	54	72	75	1,48	1,98	2,3	0,28
643 040 00	643 240 00	643 990 40	643 340 00	643 440 00	40 x 7	60	80	80	1,8	2,44	2,8	0,36
643 044 00	643 244 00	-	643 344 00	-	44 x 7	66	88	80	1,9	2,52	2,86	-
643 048 00	643 248 00	-	643 348 00	-	48 x 8	72	96	90	2,68	3,58	4,08	-
643 050 00	643 250 00	-	643 350 00	643 450 00	50 x 8	75	100	90	2,72	3,64	4,12	0,54
643 052 00	643 252 00	-	643 352 00	-	52 x 8	78	104	90	2,72	3,64	4,2	-
643 060 00	643 260 00	-	643 360 00	643 460 00	60 x 9	90	120	100	3,76	4,96	5,7	0,74
643 070 00	-	-	-	-	70 x 10	105	-	110	4,96	-	-	-

A.9 Datenblatt Kugelscheibe

DIN 6319 Kugelscheiben, Kegelpfannen

Auszug



2 Form

- C Kugelscheibe
- D Kegelpfanne mit $d_4 = d_3$
- G Kegelpfanne mit $d_4 > d_3$

d ₁ H13 Form C	d ₂ H13 Form D Form G	d ₃	d ₄ Form D Form G	d ₅	d ₆ Schraube	h ₁	h ₂	h ₃ Form D Form G	h ₄ Form D	r	Übertragbare statische Schraubkraft in kN max.		
6,4	7,1	12	12	17	11	M 6	0,7	2,3	2,8	4	4,2	9	9
8,4	9,6	17	17	24	14,5	M 8	0,6	3,2	3,5	5	5,6	12	17
10,5	12	21	21	30	18,5	M 10	0,8	4	4,2	5	6,5	15	26
13	14,2	24	24	36	20	M 12	1,1	4,6	5	6	8	17	38
15	16,5	28	28	-	24,8	M 14	1,2	5	5,6	-	8,5	22	53
17	19	30	30	44	26	M 16	1,3	5,3	6,2	7	9,6	22	73
21	23,2	36	36	50	31	M 20	2	6,3	7,5	8	11,7	27	117
25	28	44	44	60	37	M 24	2,4	8,2	9,5	10	15,2	32	168
31	35	56	56	68	49	M 30	3,6	11,2	12	12	19,2	41	269
37	42	68	68	-	60	M 36	4,6	14	15	-	23,5	50	394
43	49	78	78	-	70	M 42	6,5	17	18	-	29	58	542
50	56	92	92	-	82	M 48	8	21	22	-	35,5	67	714

Ausführung

- Form C / D
Einsatzstahl
einsatzgehärtet
EHT 0,2 bis 0,4 mm
Härte (550 + 100) HV 10
- Form G
Vergütungsstahl
vergütet
Härte (350 + 80) HV 30
- ISO-Passungen → Seite 1263
- RoHS-konform

Auf Anfrage

- Kugelscheiben / Kegelpfannen
nicht gehärtet

Hinweis

Kugelscheiben und Kegelpfannen DIN 6319 werden eingesetzt, wenn sich Spannelemente an nicht parallele Flächen anpassen sollen.

Kegelpfannen der Form G werden vorwiegend bei Langlöchern verwendet.

Bei Verwendung von Sechskantmuttern DIN 6330 Form B entfällt die Kugelscheibe.

siehe auch...

- Kugelausgleich-Scheiben GN 350.3 (hohe Belastbarkeit) → Seite 667

Kugelscheibe DIN 6319-17-C	1	d ₁
	2	Form

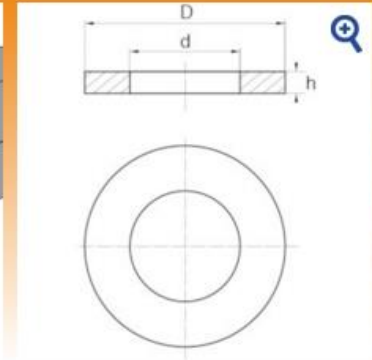
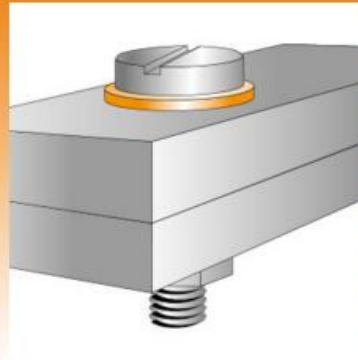
Kegelpfanne DIN 6319-19-D	1	d ₂
	2	Form

A.10 Datenblatt Teflonscheibe [8]

Home > Unterlegscheiben > Unterlegscheiben aus - PTFE

Unterlegscheiben aus - PTFE

Standard: PTFE, weiß



Werkstoffe / Farben

Kapitel herunterladen

Katalog herunterladen

Musteranfrage

Sonderteile nach Zeichnung

M	d	D	h	V.E.	Art.-Nr.	Anfrage
M3	3,2	7,0	0,5	1 000	1253J	
M4	4,3	9,0	0,8	1 000	1254J	
M5	5,3	10,0	1,0	1 000	1255J	
M6	6,4	12,0	1,5	1 000	1256JN	
M8	8,4	18,0	1,5	1 000	1258JN	
M8	8,4	17,0	1,5	1 000	1256J	
M10	10,5	20,0	2,0	1 000	12510JN	
M12	13,0	24,0	2,5	1 000	12512J	
M16	17,0	30,0	3,0	500	12516J	

Sehr gute Temperaturbeständigkeit von -200 bis +260°C.
 Sehr gute Säure-, Laugen-, Benzin- und Ölbeständigkeit.
 Unbrennbar, Brandverhalten UL 94 VO.
 Andere Abmessungen auf Anfrage.

Werkstoffe / Farben

Standard: PTFE, weiß

Auf Anfrage: PTFE glasfaserverstärkt, PTFE Kohle,
 PTFE Graphit.
 Abnahmemenge auf Anfrage.

Für diese Produktgruppe sind keine RAL-Farben
 realisierbar.

A.11 Zeichnungssatz zur Weiterentwicklung des Schraubstocks

Übersicht:

- Grundplatte
- Backenhalter
- Block Sensorbefestigung
- Führungsbahn
- Gewindemutter
- Gewindemutterhalter
- Schlitten
- Schlittenführung
- Spannbacke ohne Nuten
- Spannbacke mit Nuten
- Spindel
- Unterlegplatte
- Teflonscheibe
- Passelement
- Zusammenbauzeichnung

A.12 Stückliste

Pos.	Menge	Benennung	Norm / Werkstoff	Bemerkung	Änderungsstat.		
1	1	Grundplatte	Stahl		unverändert		
2	2	Führungsbahn	Stahl		verändert		
3	1	Backenhalter	Stahl		unverändert		
4	1	Block Sensorbefestig.	Stahl		verändert		
5	1	Schlitten	Stahl		verändert		
6	1	Schlittenführung	Stahl		verändert		
7	1	Spannbacke	Stahl	gehärtet mit Nuten	unverändert		
8	1	Spannbacke	Stahl	gehärtet ohne Nuten	verändert		
9	1	Gewindemutterhalter	Stahl		verändert		
10	1	Gewindemutter	CuSn-Leg.		verändert		
11	1	Spindel	Stahl		verändert		
12	1	Nuss	Stahl		unverändert		
13	1	Drehmomentschl.	Stahl		unverändert		
14	1	Kraftsensor	Stahl		unverändert		
15	1	Unterlegplatte	Stahl	unter Block Sensorbef.	unverändert		
16	2	Unterlegscheibe	Stahl	gehärtet	unverändert		
17	4	Zylinderschraube	ISO 7984 - M6 x 14	für Spannbacken	unverändert		
18	2	Zylinderschraube	ISO 4762 - M6 x 25	für Schlittenführung	unverändert		
19	1	Zylinderschraube	ISO 4762 - M6 x 45	für Kraftsensor	neu		
20	4	Zylinderschraube	ISO 4762 - M6 x16	für die Führungsschie.	unverändert		
21	4	Zylinderschraube	ISO 4762 - M8 x 25	für die beiden Backenh.	unverändert		
22	4	Zylinderstift	ISO 8734 - 6x35 A	Backenhalter-Grundp.	unverändert		
23	4	Zylinderstift	ISO 8734 - 6x24 A	Führungsschiene-Grundp.	unverändert		
24	1	Kugelscheibe	DIN 6319 - 8,4 - C	für Kraftsensor	neu		
25	1	Kegelpfanne	DIN 6319 - 9,6 - D	für Kraftsensor	neu		
26	2	Zylinderstift	ISO 8734 - 4x30 A	Gewindemutterfixierung	neu		
27	1	Teflonscheibe	D=15,5;d=8;h=1	für Spindel Stirnseite	neu		
28	1	Zylinderschraube	ISO 4762 - M6 x 16	für Spindel	neu		
29	1	Passelement	B=54; H=30; t=1	für Schlittenführung	neu		
-	2	Zylinderschraube	ISO 4762 - M6 x 55	für Kraftsensor	entfernt		
-	2	Zylinderstift	ISO 8734 - 4x35 A	Spindelfixierung	entfernt		
-	2	Zylinderstift	ISO 8734 - 8x60 A	Spindel Mutterfixierung	entfernt		
				Datum	Name	Benennung Stückliste Schraubstock	
			Bearb	09.12.2015	Sonnenburg		
			Gepr.				
			Norm				
				Bachelorarbeit Weiterentwicklung Schraubstock		Zeichn.-Nr.	Blatt
							1
Zust.	Änd.	Datum	Name				

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Bachelorarbeit