



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

# **Bachelorarbeit**

Maciej Likowski

## **Entwurf einer Fixierung zur Prüfung mittels taktiler Messgeräte**

*Fakultät Technik und Informatik  
Department Maschinenbau und Produktion*

*Faculty of Engineering and Computer Science  
Department of Mechanical Engineering and  
Production Management*

**Maciej Likowski**  
**Entwurf einer Fixierung zur Prüfung**  
**mittels taktiler Messgeräte**

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: Prof. Dr.-Ing. habil. Frank Helmut Schäfer  
Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Niels Eiben

Abgabedatum: 29.06.2018

# Zusammenfassung

**Maciej Likowski**

## Thema der Bachelorthesis

Entwurf einer Fixierung zur Prüfung mittels taktiler Messgeräte

## Stichworte

Spannvorrichtung, dünnwandige Drehteile, Koordinatenmessgerät, Konzeptentwicklung, Gestaltung

## Kurzzusammenfassung

Die Arbeit umfasst die methodische Konzeptentwicklung einer Spannvorrichtung als Fixierungsmöglichkeit zur Prüfung mittels taktiler Messgeräte. Die Beschreibung der Spannvorrichtung erfolgt am Beispiel dünnwandiger Drehteile mit Abmessungen bis in den Bereich weniger Millimeter. Die Prüfung soll auf einem Koordinatenmessgerät erfolgen. Zuerst wird die Aufgabe analysiert. Alle Informationen, die für eine Lösungsfindung nötig sind, werden zusammengetragen. Im nächsten Schritt werden die Anforderungen an eine Spannvorrichtung ermittelt. Mithilfe eines morphologischen Kastens werden mehrere Lösungsvarianten erarbeitet. Schließlich wird nach der Bewertung der Lösungsvarianten mit einem geeigneten Bewertungsverfahren ein endgültiges Konzept festgelegt, detailliert und in ein CAD-Modell umgesetzt.

**Maciej Likowski**

## Title of the paper

Design of a fixation for testing with tactile measuring devices

## Keywords

Clamping device, thin-walled turned parts, coordinate measuring machine, concept development, design

## Abstract

The work includes the methodical concept development of a clamping device as a fixation option for testing with tactile measuring devices. The description of the clamping device is based on the example of thin-walled turned parts with dimensions up to the range of a few millimeters. The test should be carried out on a coordinate measuring machine. First the task is analyzed. All the information needed to find a solution is compiled. In the next step, the requirements for a clamping device are determined. Using a morphological box, several solution variants are developed. Finally, after evaluating the solution variants with a suitable evaluation procedure, a final concept is defined, detailed and converted in a CAD model.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>I</b>
<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>II</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>III</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>V</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Theoretische Grundlagen.....</b>	<b>3</b>
2.1 Konstruktionsmethodik – Definition und Vorgehen.....	3
2.2 Koordinatenmesstechnik – Geräteaufbau und Ablauf einer Prüfung .....	11
2.3 Spannvorrichtungen – Begriffe und Gliederung .....	14
<b>3 Stand der Technik – Spannen von dünnwandigen Kleinteilen .....</b>	<b>18</b>
<b>4 Methodisches Konstruieren.....</b>	<b>22</b>
4.1 Aufgabenstellung.....	22
4.1.1 Status Quo .....	22
4.1.2 Anforderungsliste.....	26
4.2 Lösungsfindung .....	28
4.2.1 Black-Box-Darstellung .....	28
4.2.2 Funktionsanalyse.....	29
4.2.3 Morphologischer Kasten .....	31
4.2.4 Bewertung der Lösungsvarianten .....	35
4.3 Entwurf .....	39
4.3.1 Berechnungen .....	40
4.3.2 Modellierung.....	42
<b>5 Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>45</b>
<b>Literatur.....</b>	<b>47</b>

## Abkürzungsverzeichnis

CAD	.....	<i>computer-aided design (rechnergestützter Entwurf)</i>
KMG	.....	<i>Koordinatenmessgerät</i>
LV	.....	<i>Lösungsvariante</i>
VDI	.....	<i>Verein deutscher Ingenieure</i>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Vorgehens beim Entwickeln und Konstruieren nach VDI-Richtlinie 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ .....	4
Abbildung 2: Black-Box-Darstellung der Gesamtfunktion. ....	7
Abbildung 3: Darstellung einer Funktionsstruktur. ....	8
Abbildung 4: Aufbau des Koordinatenmessgerätes in Auslegerbauart mit beweglichem Tisch im mechanischen Längenmesslabor. ....	13
Abbildung 5: Aufbau eines taktilen Messkopfsystems. ....	14
Abbildung 6: Einteilung der Fertigungsmittel. ....	15
Abbildung 7: Einteilung der festen Verbindungen nach ihren Schlussarten. ....	16
Abbildung 8: Übersicht der möglichen Spannprinzipien für Spannvorrichtungen. ....	16
Abbildung 9: Messaufnahmesystem CAR FIT CMK vom Hersteller Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH. ....	19
Abbildung 10: Ausgewählte Kleinteilespanner vom Hersteller <i>dk Fixiersysteme GmbH &amp; Co. KG</i> für rotationssymmetrische Bauteile. ....	19
Abbildung 11: Mikro-Fixiereinrichtung vom Hersteller <i>dk Fixiersysteme GmbH &amp; Co. KG</i> . ....	20
Abbildung 12: Spannsystem <i>BLUE CLAMP X-GRIP XS LIGHT</i> vom Hersteller <i>MATRIX GmbH</i> . ....	21
Abbildung 13: Mindmap für die informative Festlegung der Konstruktionsaufgabe. ....	22
Abbildung 14: Ungeeignete Spannlösung: Improvisierter Zusammenbau von zwei Schraubstöcken. ....	23
Abbildung 15: Ungeeignete Spannlösung: Hochgestelltes Dreibackenspannfutter. ....	24
Abbildung 16: Ungeeignete Spannlösung: Spannvorrichtung mit Betätigung durch eine Rändelschraube. ....	24
Abbildung 17: Auswahl an Tastersystemen für die Prüfung von dünnwandigen Drehteilen mit Abmessungen im Bereich weniger Millimeter auf einem KMG. ....	25
Abbildung 18: Eingrenzung des Messbereichs der KMG durch das Tastersystem. ....	26
Abbildung 19: Black-Box-Darstellung der Gesamtfunktion. ....	29
Abbildung 20: Schematische Darstellung des Grundaufbaus einer Spannvorrichtung. ....	30
Abbildung 21: Prinzipskizze LV 1. ....	33
Abbildung 22: Prinzipskizze LV 2. ....	34
Abbildung 23: Prinzipskizze LV 3. ....	35
Abbildung 24: Wirkende Kräfte Dreistegauflage bei horizontaler Antastung. ....	40
Abbildung 25: Verbindung Zusatzgewicht und Nylonfaden. ....	44

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Allgemeine Anforderungsliste.....	5
Tabelle 2: Leitfaden für die Anforderungsliste.....	6
Tabelle 3: Vorgehensweise zur Formulierung einer lösungsneutralen Problemstellung auf Basis einer vorliegenden Anforderungsliste.....	7
Tabelle 4: Schematische Darstellung des morphologischen Kastens.....	9
Tabelle 5: Schematische Darstellung des Rangfolgeverfahrens.....	10
Tabelle 6: Schematischer Aufbau des Bewertungsverfahrens.....	11
Tabelle 7: Anforderungsliste.....	27
Tabelle 8: Formulierung einer lösungsneutralen Problemstellung auf Basis einer vorliegenden Anforderungsliste.....	28
Tabelle 9: Untergliederung der abstrahiert formulierten Gesamtfunktion in Teilfunktionen...	31
Tabelle 10: Morphologischer Kasten.....	32
Tabelle 11: Bewertungskriterien für die Bewertung der LV 1 - 3.....	36
Tabelle 12: Rangfolgeverfahren für die Bestimmung der Rangfolge der Bewertungskriterien.....	37
Tabelle 13: Rangfolge der Bewertungskriterien.....	38
Tabelle 14: Bewertungsverfahren für die LV 1 - 3.....	39

# 1 Einleitung

Die Feinwerktechnik beschäftigt sich mit der Entwicklung und Fertigung präziser Produkte deren Abmessungen bis in den Bereich weniger Millimeter reichen. Im Bereich der Medizintechnik findet die Feinwerktechnik beispielsweise Anwendung. Aufgrund der Nähe zum Gesundheitswesen müssen Produkte der Medizintechnik eine hohe Leistung erbringen und gleichzeitig eine hohe Qualität gewährleisten. Endoskope zum Beispiel, sind Operationsinstrumente der minimal-invasiven Chirurgie, die den Einblick in verborgene Körperhöhlen und Hohlgane ermöglichen. Aus dem Anspruch Verletzungen von Haut und anderem Gewebe immer weiter zu minimieren resultiert ein steigender Komplexitätsgrad der Baugruppen, der sich in einer stetigen Miniaturisierung der verwendeten Bauteile widerspiegelt. Die Qualität solcher Produkte hat die höchste Priorität. Deren Einhaltung ist ein wesentlicher Aspekt des Qualitätsmanagements, welches in Branchen wie der Medizintechnik vorgeschrieben ist. Zur Qualitätssicherung können Längenmesslabore mit leistungsfähiger Messtechnik beitragen, in denen geometrische Größen und Kennwerte einzelner Bauteile oder ganzer Baugruppen gemessen und geprüft werden können.

Für die Prüfung kommen mechanisch antastende (taktile) Messgeräte wie das Koordinatenmessgerät (KMG) zum Einsatz, welches mithilfe von taktilen Sensoren Messpunkte auf der Bauteiloberfläche erfassen kann. Nach einer Analyse der ermittelten Messpunkte durch eine geeignete Messsoftware kann schließlich eine zuverlässige Aussage über Maß-, Form- und Lageabweichungen der abgetasteten Bauteile getroffen werden. Eine wesentliche Voraussetzung für zuverlässige Messergebnisse ist, dass sich das Bauteil infolge der beim Messvorgang entstehenden Antastkräfte nicht bewegt. Einer Fixierung des Bauteils auf dem Tisch des Messgerätes durch eine Spannvorrichtung kommt demnach eine entscheidende Rolle zu. Dabei muss sichergestellt werden, dass die Spannkraft das Bauteil nicht verformen. Gleichzeitig darf das Spannmittel die zu prüfenden Geometriemerkmale nicht überdecken und die Zugänglichkeit des taktilen Sensors zu diesen nicht behindern.

Die Arbeit greift die oft vorliegende Problematik beim Spannen von dünnwandigen<sup>1</sup> Drehteilen mit Abmessungen bis in den Bereich weniger Millimeter auf einem KMG auf. Aufgrund eines Mangels an geeigneten Alternativen werden überdimensionierte Spannmittel verwendet. Diese können Spannkraft aufbringen, die das Bauteil verformen. Gleichzeitig nehmen die Spannmittel viel Platz in Anspruch und behindern durch ihre äußere Gestalt den Mess-

---

<sup>1</sup> Im Rahmen der Arbeit gilt ein Bauteil als dünnwandig, wenn das Verhältnis von Wanddicke  $t$  zu Außendurchmesser  $d$  kleiner oder gleich 0,1 ist.

vorgang. Des Weiteren wird eine mangelnde Flexibilität der Spannmittel oft durch einen improvisierten Zusammenbau mehrerer Spannmittel kompensiert. Auch die Verwendung von zum Beispiel Knetmasse stellt keine geeignete Lösung dar.

Ziel der Arbeit ist es, eine Spannvorrichtung zu entwerfen, die dünnwandige Drehteile für die Dauer einer Messaufgabe auf einem KMG einspannt und das Auftreten der zuvor genannten Probleme minimiert oder vermeidet. Dabei soll nach dem in der VDI-Richtlinie 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ [1] definierten Prinzip zum methodischen Konstruieren vorgegangen werden. Unter Berücksichtigung aller relevanten Aspekte soll in der vorliegenden Arbeit die Lösungsfindung transparent und nachvollziehbar dokumentiert, sowie die Lösung in ein CAD-Modell umgesetzt werden. Die Fertigung der Spannvorrichtung ist im Rahmen der Arbeit nicht gefordert.

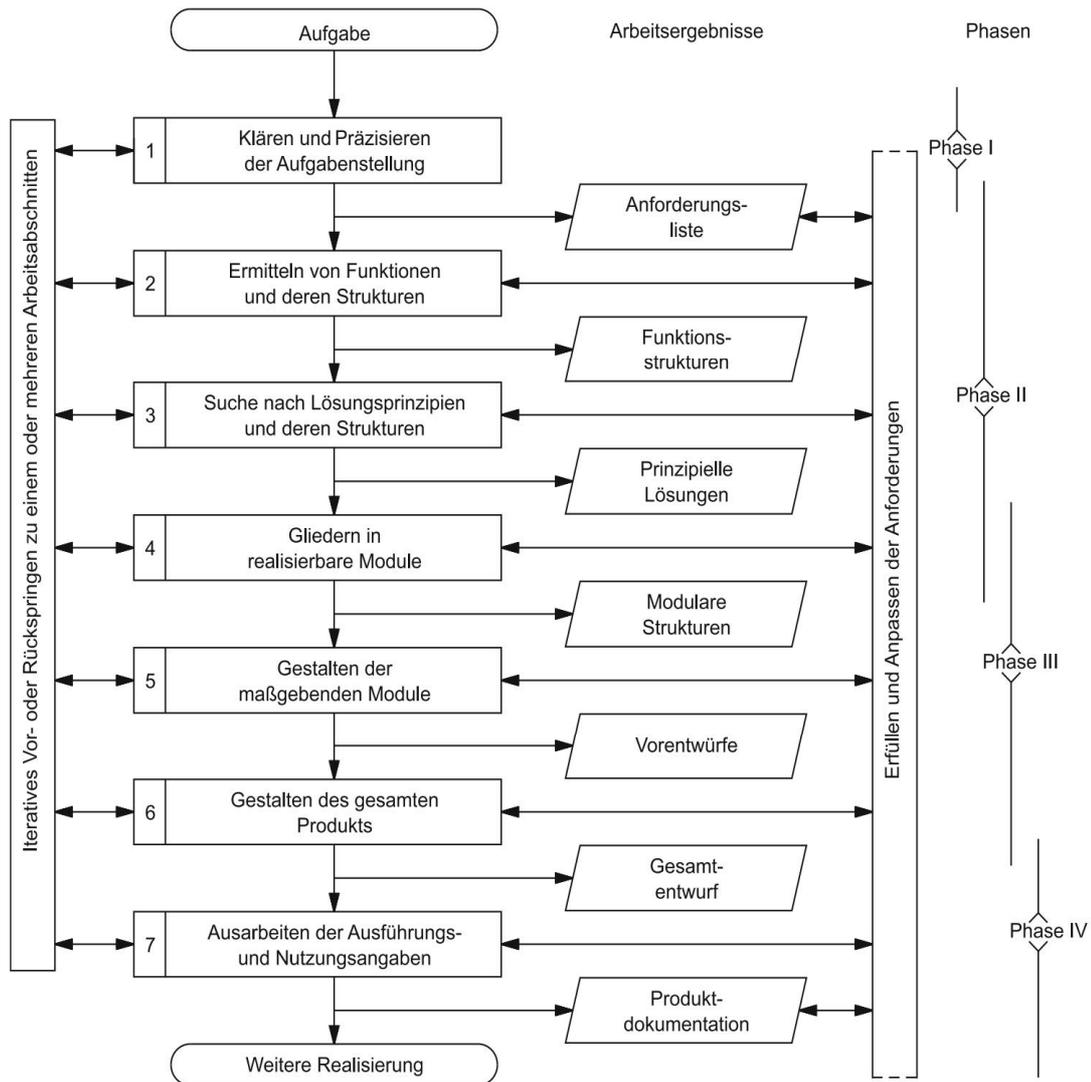
## 2 Theoretische Grundlagen

Teil der vorliegenden Arbeit ist es, eine Spannvorrichtung zur Prüfung von dünnwandigen Drehteilen auf dem Koordinatenmessgerät *O-INSPECT 322* des Herstellers *Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH* zu entwerfen. Im folgenden Abschnitt werden die dafür notwendigen theoretischen Grundlagen dargestellt.

### 2.1 Konstruktionsmethodik – Definition und Vorgehen

In der vorliegenden Arbeit findet die Konstruktionsmethodik, deren Grundlagen in der VDI-Richtlinie 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ [1] beschrieben sind, Anwendung. Die Richtlinie beschreibt eine allgemeine, branchenunabhängige Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Der gesamte Konstruktionsprozess wird dabei in die vier Hauptphasen (Phase I - IV) Analysieren, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten unterteilt (Abbildung 1). Die Phasen umfassen insgesamt sieben Arbeitsabschnitte mit den dazugehörigen Arbeitsergebnissen. Je nach Konstruktionsaufgabe können ausgewählte Abschnitte vollständig, teilweise oder sogar mehrmals iterativ durchlaufen werden.

Neben der Kompetenz des Konstrukteurs sowie der Verwendung moderner Hard- und Software ist die Anwendung der Konstruktionsmethodik grundlegend für die erfolgreiche Lösung einer gegebenen Konstruktionsaufgabe.



**Abbildung 1: Schematische Darstellung des Vorgehens beim Entwickeln und Konstruieren nach VDI-Richtlinie 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“. Ausgehend von der Aufgabenstellung werden die ersten sechs Arbeitsabschnitte durchlaufen, so dass abschließend ein Gesamtentwurf vorliegt. Einzelne Abschnitte werden iterativ durchgeführt. [2, S. 18]**

Die einzelnen Arbeitsabschnitte und die zugehörigen Arbeitsergebnisse der vier Hauptphasen lassen sich folgendermaßen beschreiben:

### Analysieren

Die Phase des Analysierens dient der Informationsbeschaffung und Einarbeitung in die Aufgabenstellung. Alle konstruktiven Rahmenbedingungen, die für die Lösungsfindung in der Phase des Konzipierens notwendig sind, werden in einer Anforderungsliste (Tabelle 1) als Anforderungen formuliert. Die Anforderungsliste ist die Grundlage des gesamten Konstrukti-

onsprozesses. Sie kann in den nachfolgenden Phasen aufgrund neu gewonnener Erkenntnisse ergänzt oder geändert werden.

In der Anforderungsliste lassen sich die Anforderungen entsprechend ihrer Wichtigkeit in Forderungen sowie Wünsche unterteilen. Forderungen müssen unter allen Umständen erfüllt sein. Die Formulierung von Mindest- und Maximalforderungen erfolgt als Ungleichung. Wünsche sollten nach Möglichkeit berücksichtigt werden und können priorisiert werden. Ein Wunsch „W4“ beispielsweise ist höher gewichtet als ein Wunsch „W1“. Sie müssen jedoch nicht zwangsgebunden erfüllt werden. [3]

**Tabelle 1: Allgemeine Anforderungsliste. Anforderungen werden nach Forderungen und Wünschen klassifiziert. Wünsche können priorisiert werden (W1, W2, W3, W4).**

<h1>Anforderungsliste</h1>				
			Projekt	erstellt am:
				erstellt von:
Lfd.	Änderung / Datum	F / W	Beschreibung / Name der Anforderung	Bemerkung

**Anforderungsarten:** F - Forderung; W - Wunsch  
**Priorisierung der Wünsche:** W1 - gering; W2 - mittel; W3 - hoch; W4 - sehr hoch

Als Leitfaden für die Inhalte der Anforderungsliste kann die Tabelle 2 verwendet werden. Hauptmerkmale, wie beispielsweise Geometrie und Kinematik und zugehörige Beispiele dienen als Anhaltspunkte für die Erstellung der Anforderungen.

**Tabelle 2: Leitfaden für die Anforderungsliste. Die Hauptmerkmale und Beispiele können bei der Erstellung der Anforderungsliste helfen. [4]**

Hauptmerkmal	Beispiele
Geometrie	Höhe, Länge, Breite, Durchmesser, Anzahl
Kinematik	Bewegungsart und -richtung, Beschleunigung, Geschwindigkeit, Drehzahl
Kräfte	Kraftart (Scherkraft, Zugkraft, usw.), Größe, Richtung, Steifigkeit, Stabilität
Energie	Leistung, Wirkungsgrad, Druck, Temperatur, Anschlussenergie, Verlustenergie
Stoff	Hilfsstoffe, Werkstoffe, Eigenschaften der eingesetzten Stoffe
Signale	Anzeigeart, Signalform, Eingangs- und Ausgangssignale, Überwachungsfunktionen
Sicherheit	Vorschriften, Gesetze, Schutzsysteme
Ergonomie	Bedienungsart, Formgestaltung, Beleuchtung, Klimatische Gegebenheiten
Gebrauch	Lärm, Verschleiß, Einsatzort
Fertigung	Fertigungsverfahren, Qualität, Toleranzen, max. Fertigungsmaße
Montage	Vorschriften, Baustellenmontage, Baugruppen
Instandhaltung	Wartung, Inspektion, Instandsetzung – Zeitintervalle
Kontrolle	Mess- und Prüfmöglichkeiten, Vorschriften
Transport	Transportwege (max. Breite, Höhe, Gewicht), Begrenzung durch Hebezeuge (Kran, Gabelstapler)
Recycling	Entsorgung, Wiederverwertung
Kosten	Werkzeugkosten, zulässige Herstellkosten
Termine	Ende der Entwicklung, Meilensteine, Lieferzeiten

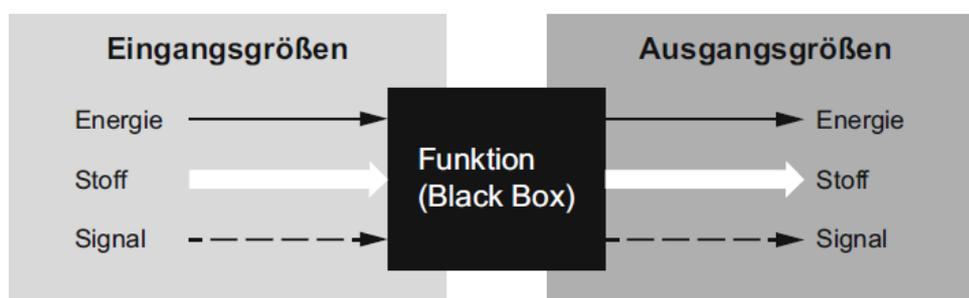
## Konzipieren

Die Konzeptphase gliedert sich in mehrere Arbeitsschritte. Im ersten Teil der Phase wird der Wesenskern der Aufgabenstellung herausgearbeitet. Die Aufgabenstellung wird dabei durch Abstraktion verallgemeinert. Diese Vorgehensweise führt zu einer lösungsneutralen Aufgabenstellung. Ausgehend von dieser und der vorliegenden Anforderungsliste wird dann die Problemstellung ebenfalls lösungsneutral formuliert (Tabelle 3). Das Ziel der Abstraktion ist es, mögliche Vorfixierungen auf bekannte Lösungen, die neue Lösungen von vornherein ausschließen können, zu vermeiden. [3]

**Tabelle 3: Vorgehensweise zur Formulierung einer lösungsneutralen Problemstellung auf Basis einer vorliegenden Anforderungsliste. Wünsche werden weggelassen. Die wesentlichen Forderungen werden qualitativ und prägnant formuliert. [nach 3, Kapitel 4, Teil 1, Folie 9]**

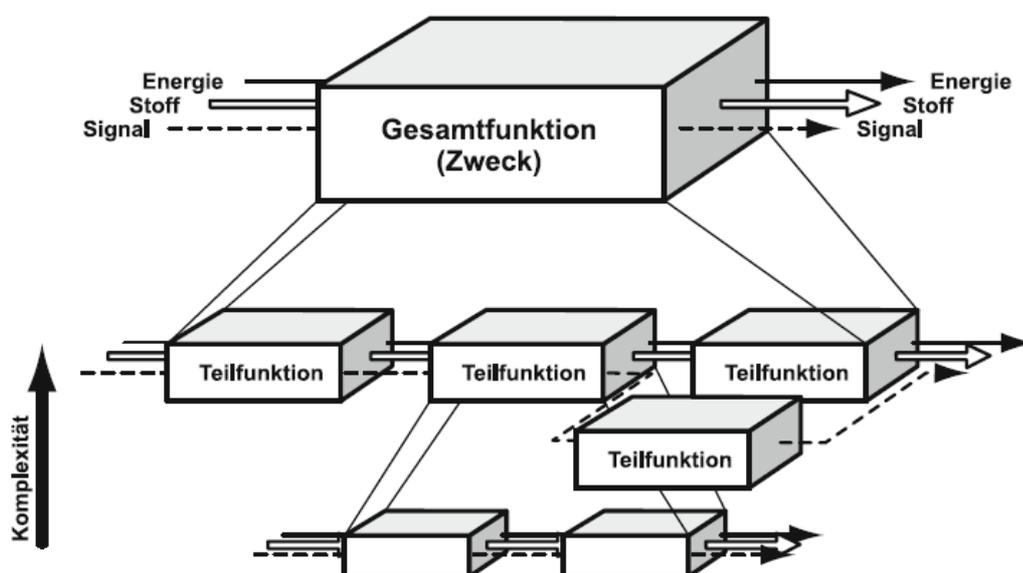
Formulierung einer lösungsneutralen Problemstellung	
<b>Vorgehen</b>	
1. Schritt	Wünsche (W) weglassen
2. Schritt	Nur noch Forderungen (F) berücksichtigen, die die <b>Funktionen</b> und <b>wesentlichen</b> Bedingungen unmittelbar betreffen
3. Schritt	<b>Quantitative</b> Angaben in <b>qualitative</b> Aussagen umwandeln und dabei auf die wesentlichen Aussagen reduzieren
4. Schritt	Erkanntes sinnvoll erweitern
5. Schritt	Problem lösungsneutral formulieren
<b>Ergebnis</b>	
1. und 2. Schritt	
3. und 4. Schritt	
5. Schritt	

Im nächsten Teil der Phase ist es zweckmäßig, die abstrahierte Problemstellung als Gesamtfunktion in einer Black-Box-Darstellung (Abbildung 2) zu formulieren. Die Black-Box-Darstellung dient dazu das zu entwickelnde System von außen zu betrachten und unterstützt das Vermeiden von Vorfixierungen auf bekannte Vorbilder. So wird die Entwicklung innovativer Lösungen gefördert. Die Gesamtfunktion stellt den Zusammenhang von Ein- und Ausgangsgrößen her, unter welchen alle Faktoren verstanden werden, die in die beziehungsweise aus der Systemgrenze fließen. Sie werden unterteilt in die Hauptgruppen Stoff, Energie und Signal. [5]



**Abbildung 2: Black-Box-Darstellung der Gesamtfunktion. Das zu entwickelnde System wird von außen betrachtet. Die Gesamtfunktion stellt den Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgangsgrößen her, die in die beziehungsweise aus der Systemgrenze fließen. Die Unterteilung der Größen erfolgt in die Hauptgruppen Stoff, Energie und Signal. [2]**

Im nächsten Schritt folgt die Durchführung einer Funktionsanalyse, die die Aufstellung einer vollständigen Funktionsstruktur (Abbildung 3) zum Ziel hat. Die Gesamtfunktion wird in weniger komplexe Teilfunktionen untergliedert, wobei eine Teilfunktion eine Teilaufgabe erfüllt. Für die Erarbeitung der Teilfunktionen ist es zweckmäßig, die Struktur eines vorhandenen Konstruktionsbeispiels durch die Auflistung der vorgefundenen Strukturelemente zu beschreiben und diesen dann ihrer Funktion zuzuordnen. Insbesondere bei der Entwicklung von Vorrichtungen werden Handhabungsschritte berücksichtigt und diesen Funktionen zugeordnet. Die Verknüpfung der Teilfunktionen ergibt die Funktionsstruktur. Eine zu detaillierte Gliederung in Teilfunktionen ist zu vermeiden, da die Struktur sonst zu sehr an ein Vorbild anlehnen könnte und die Entwicklung einer eigenständigen und innovativen Lösung hemmt. [5]



**Abbildung 3: Darstellung einer Funktionsstruktur.** Das komplexe Gesamtproblem wird in überschaubare Einzelprobleme aufgeteilt, indem die Gesamtfunktion in Teilfunktionen untergliedert wird. Bei der Gliederung in Teilfunktionen sind mehrere Ebenen möglich. [2, S.244]

Für die Bildung von Lösungsvarianten (LV) wird ein morphologischer Kasten (Tabelle 4) aufgestellt. Zu allen zuvor erarbeiteten Teilfunktionen aus der Funktionsanalyse wird ein breites Feld von Teillösungen aufgelistet. Durch die Kombination verschiedener Teillösungen können mithilfe des morphologischen Kastens mehrere Lösungsvarianten erzeugt werden. Zu beachten ist, dass eine Verträglichkeit der verschiedenen Teillösungen miteinander gegeben sein muss. [3]

**Tabelle 4: Schematische Darstellung des morphologischen Kastens. Zu den erarbeiteten Teilfunktionen wird ein breites Feld von Teillösungen aufgestellt. Die Bildung von Lösungsvarianten erfolgt durch die Kombination verschiedener Teillösungen miteinander.**

Morphologischer Kasten						
Teilfunktionen	Teillösungen					
1						
2						
3						
...						
n						

- Lösungsvariante 1
- Lösungsvariante 2

Die aus dem morphologischen Kasten hervorgehenden Lösungsvarianten werden einer Bewertung unterzogen, die den Wert beziehungsweise Nutzen einer Lösung aus vorher definierten Bewertungskriterien bestimmt. Wenn die ausgewählten Varianten alle Forderungen der Anforderungsliste erfüllen, werden Wünsche zu Bewertungskriterien. Maximal- und Minimalforderungen können als zusätzliche Bewertungskriterien dienen, da sich aus ihnen ein Wunsch ableiten lässt.

Die Bewertungskriterien werden zunächst im Rangfolgeverfahren (Tabelle 5) paarweise miteinander verglichen. Ist ein Kriterium im paarweisen Vergleich wichtiger, wird die Zahl „1“ eingetragen, ist es hingegen nicht wichtiger, wird die Zahl „0“ eingetragen. Im Anschluss werden die Zahlen addiert. Aus dem Verhältnis der einzelnen Summen jedes Bewertungskriteriums zu der Gesamtsumme ergeben sich die Gewichtungsfaktoren für die Bewertungskriterien die in der Summe 1,0 also 100 % ergeben. Abschließend wird eine Rangfolge angegeben. [3]

**Tabelle 5: Schematische Darstellung des Rangfolgeverfahrens. Ausgehend von dem paarweisen Vergleich der Bewertungskriterien miteinander, ergibt sich die Gewichtung, aus der die Rangfolge der Kriterien ermittelt werden kann.**

		Rangfolgeverfahren				
		Bewertungskriterium				
Im Vergleich zu Bewertungskriterium	Nr.	1	2	3	...	n
	1	-				
	2		-			
	3			-		
	...				-	
	m					-

<b>Summe</b>						∑ Summe =
<b>Gewichtung</b>						∑ Gewichtung = 1,0
<b>Rang</b>						

**Bewertung:** 1 - besser; 0 - nicht besser

Die endgültige Bewertung der Lösungsvarianten erfolgt mit einem Bewertungsverfahren (Tabelle 6). In dieser Tabelle wird der Erfüllungsgrad der Bewertungskriterien jeder Lösungsvariante eingetragen. In der Spalte *Bewertungskriterium* und *Gewichtung* werden die Kriterien und ihre zuvor ermittelten Gewichtungsfaktoren eingetragen. Das Bewertungsverfahren hat ein Punktesystem von 0 bis 4 Punkten. Die Bedeutung der Punkte ist in Tabelle 6 dargestellt. In den nachfolgenden Spalten werden für jede Lösungsvariante Punkte vergeben. Der gewichtete Punktwert ergibt sich aus der Multiplikation der Gewichtung des jeweiligen Bewertungskriteriums mit den vergebenen Punkten. Für jede Lösungsvariante werden die gewichteten Punkte addiert aus dessen Summe sich eine Rangfolge der Varianten ableiten lässt. Die Wertigkeit der Gesamtlösung gibt an, inwieweit die jeweilige Lösungsvariante die Bewertungskriterien erfüllt. Sie wird aus dem Verhältnis der Summe der Punkte und der Höchstpunktzahl 4 ermittelt. [3]

Die Lösungsvariante mit der höchsten Wertigkeit wird als endgültiges Konzept festgelegt und detailliert.

**Tabelle 6: Schematischer Aufbau des Bewertungsverfahrens.** Der Erfüllungsgrad jedes Bewertungskriteriums wird mit 0 – 4 Punkten bewertet. Die vergebenen Punkte werden, mit den im Rangfolgeverfahren ermittelten Gewichtungsfaktoren für jedes Kriterium multipliziert. Es ergibt sich die Summe aller gewichteten Punkte für jede Lösungsvariante und daraus abgeleitet die Rangfolge. Zudem gibt die Wertigkeit der Gesamtlösung an, inwieweit die jeweilige Variante die Bewertungskriterien erfüllt. Eine Wertigkeit von beispielsweise 1,0 würde bedeuten, dass die Variante die optimale Lösung ist.

Bewertungsverfahren							
Bewertungskriterium	Gewichtung	Lösungsvariante 1		...		Lösungsvariante n	
		Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet
1							
2							
...							
n							
<b>Summe der Punkte</b>							
<b>Rang</b>							
<b>Wertigkeit der Gesamtlösung</b>							

**Punkte:** 0 - unbefriedigend; 1 - gerade noch tragbar; 2 - ausreichend; 3 - gut; 4 - sehr gut (ideal)

## Entwerfen

Das Ziel der Entwurfsphase ist die Erstellung eines Gesamtentwurfs des endgültigen Konzepts. Dazu wird die ausgewählte Konzeptvariante konkretisiert. Der Platzbedarf der Konstruktion und Anschlussmaße zu vorhandenen Strukturen werden ermittelt. Die Bauteildimensionierungen werden durch überschlägige Berechnungen festgelegt. Zusätzlich können Skizzen, die der Veranschaulichung dienen, entwickelt werden. [5]

## Ausarbeiten

In der Phase des Ausarbeitens wird der Gesamtentwurf fertigungstechnisch in Form einer technischen Dokumentation festgelegt. Dazu zählen sowohl technische Zeichnungen für das Gesamtprodukt, Baugruppen und Einzelteile als auch Stücklisten. [5]

## 2.2 Koordinatenmesstechnik – Geräteaufbau und Ablauf einer Prüfung

In der vorliegenden Arbeit soll eine für KMGs geeignete Spannvorrichtung für dünnwandige Drehteile entwickelt werden. Die Spannvorrichtung wird für das KMG *O-INSPECT 322* des Herstellers *Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH*, welches sowohl berührend und berührungslos räumliche Koordinaten von Merkmalen auf der Bauteiloberfläche erfassen kann,

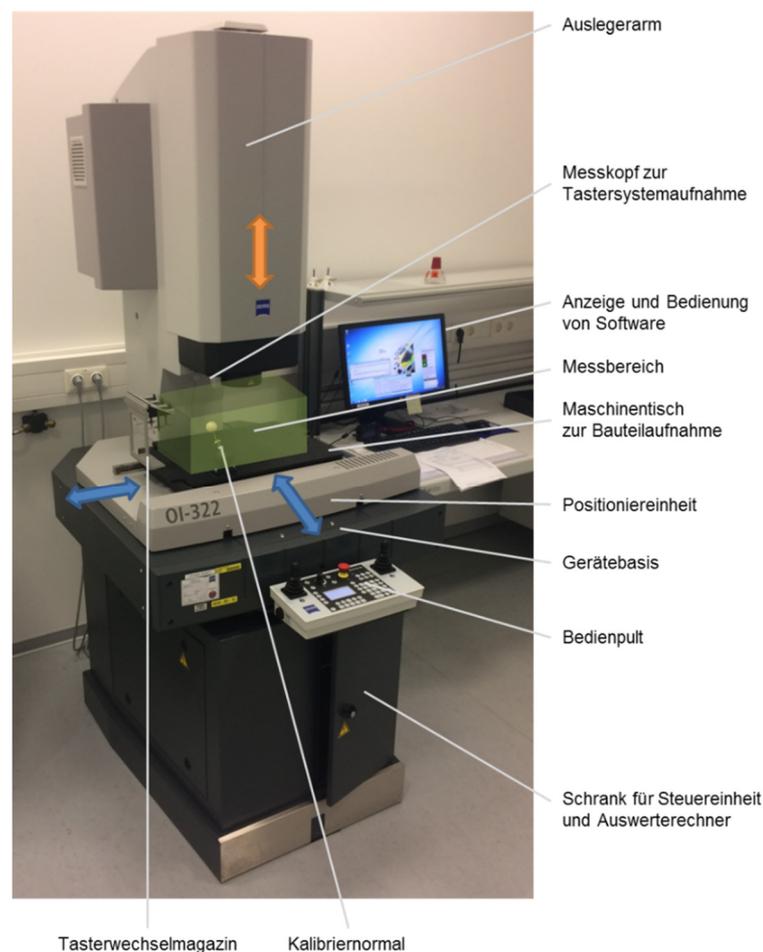
ausgelegt. Beim berührenden Verfahren tasten taktile Sensoren das zu prüfende Bauteil mechanisch mit einem Tastelement ab, während bei dem berührungslosen Verfahren optische Sensoren mithilfe von Licht verschiedener Wellenlängen, berührungslos messen. Die vorliegende Problemstellung betrifft ausschließlich das taktile Messverfahren. Im folgenden Abschnitt werden die für diese Arbeit notwendigen technischen Grundlagen der taktilen Koordinatenmesstechnik kurz dargestellt und die für das genannte Gerät wichtigen Systeme und Komponenten beschrieben. Sofern nicht anders vermerkt, wird die folgende Übersicht aus der Quelle [6] zitiert.

Das Fachgebiet der Fertigungsmesstechnik, welche geeignete Mess- und Prüfverfahren zur Qualitätssicherung der gefertigten Produkte bereitstellt, ist das Messen von geometrischen Größen oder Kennwerten. Die Qualitätssicherung erfolgt als Nachweis der Konformität von geometrischen Merkmalen der zu prüfenden Bauteile mit der Spezifikation. Eine vollständige Spezifikation eines Bauteils bezüglich seiner Geometrie umfasst Maßangaben (zum Beispiel Länge, Durchmesser und Abstand), Eigenschaften von Geometrieelementen (Form- und Lagetoleranzen) und Oberflächeneigenschaften (Welligkeit und Rauheit). Als Teil der Fertigungsmesstechnik kann die Koordinatenmesstechnik eingesetzt werden, um Maße, Formabweichungen und Lagebeziehungen auf effiziente und zuverlässige Weise zu ermitteln.

Das erwähnte KMG (Abbildung 4) besitzt eine Bauform in Auslegerbauart mit beweglichem Tisch. Der Auslegerarm, der in vertikaler Richtung beweglich ist, dient zum Verfahren des Messkopfsystems, an welchem das Tastersystem (Abbildung 5) befestigt ist. Ein Tastersystem umfasst ein oder mehrere Tasterelemente und -schäfte, eine Tasterverlängerung und ein Tasterwechselsystem. Ein Referenztaster dagegen hat bestimmte Eigenschaften bezüglich Länge und Durchmesser des Tasterelementes und wird zur Bestimmung der Position eines Kalibriernormals verwendet. Vor dem eigentlichen Messvorgang wird das Tastersystem schließlich an dem Kalibriernormal eingemessen, wodurch Parameter wie Tasterbiegung und -radius bestimmt werden. Mithilfe dieser Parameter kann die Auswerteeinheit tasterbedingte Messabweichungen ermitteln und korrigieren.

Für die Messung muss das zu prüfende Bauteil auf dem Maschinentisch mithilfe von einer Spannvorrichtung (Kapitel 2.3) fixiert werden. Eine grobe Positionierung des Bauteils reicht aus, da das KMG das durch Antasten des Bauteils bestimmte Koordinatensystem und das KMG-Koordinatensystem rechnerisch über eine Koordinatentransformation ineinander überführt und einen möglichen Versatz kompensiert. Im nächsten Schritt erfolgt die eigentliche Messpunkterfassung. Dazu werden die Positioniereinheit und der Maschinentisch des KMG jeweils senkrecht zueinander in horizontaler Richtung verfahren. Auslegerarm, Positionie-

reinheit und Maschinentisch haben jeweils einen Antrieb, der automatisch oder manuell mit Hilfe eines Bedienpults angesteuert werden kann. Die Richtungen der drei beweglichen Komponenten lassen sich durch die Achsen eines dreidimensionalen kartesischen Koordinatensystems darstellen. Längenmesssysteme in jeder Achse leiten die Position des Messkopfes in Form von kartesischen Koordinaten an den Auswerterechner weiter. Die ermittelten Oberflächenpunkte werden durch numerische Methoden als beste Näherung in ideale Geometrielemente wie Kreise oder gerade Linien überführt, sodass numerische Bilder der Oberfläche aus den idealen Geometrieelementen entstehen. Das zu prüfende Bauteilmerkmal kann anschließend durch den Vergleich der zugeordneten Geometrieelemente oder der prüfzielabhängigen Verknüpfung mehrerer Geometrieelemente mit der Soll-Gestalt bestimmt werden.



**Abbildung 4: Aufbau des Koordinatenmessgerätes in Auslegerbauart mit beweglichem Tisch im mechanischen Längenmesslabor. Der Auslegerarm mit dem Messkopf kann in vertikaler Richtung bewegt werden (oranger Pfeil), während die Positioniereinheit und der Maschinentisch jeweils senkrecht zueinander in horizontaler Richtung verfahren werden (blaue Pfeile). Das Tastersystem wird an dem Messkopf befestigt. Der Messbereich ist begrenzt (grüner Quader). Das Kalibriernormal dient dem Einmessen des Messkopfsystems. [7]**

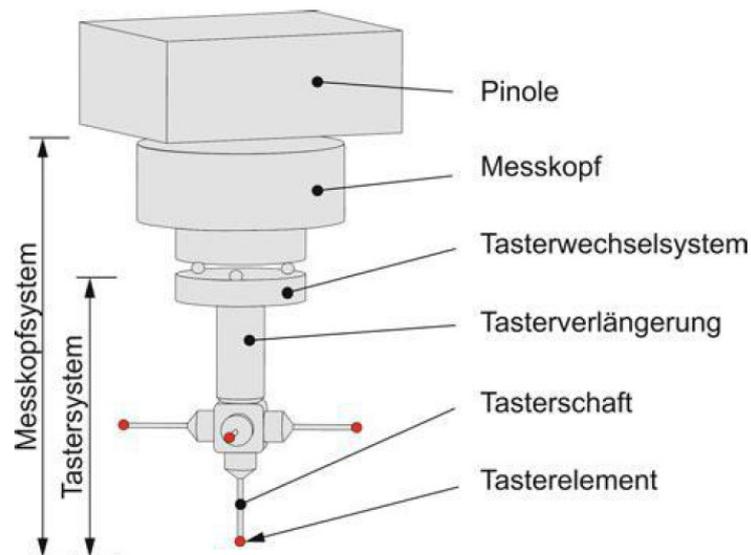
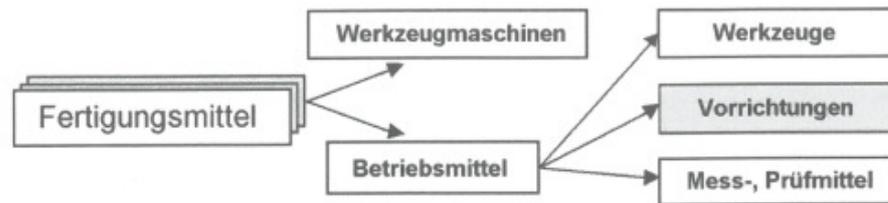


Abbildung 5: Aufbau eines taktilen Messkopfsystems. Das Tastersystem wird an dem Messkopf befestigt, der über einer Pinole montiert ist. Der Einsatz einer Tasterverlängerung ist möglich. Das Tasterelement befindet sich am Ende des Tasterschaftes. [6, S. 66]

## 2.3 Spannvorrichtungen – Begriffe und Gliederung

Der folgende Überblick zu Spannvorrichtungen wird, sofern nicht anders vermerkt, aus der Quelle [8] zitiert. Diese wird für eine weiterführende Recherche empfohlen.

Vorrichtungen allgemein werden als technisches Hilfsmittel für einen bestimmten Zweck definiert. In der Fertigung beispielsweise stellen Vorrichtungen die erforderliche Zuordnung (räumliche Relativlage) der Maschine, des Werkstücks und des Werkzeugs sicher. In der metallbearbeitenden Industrie werden Vorrichtungen zu den Betriebsmitteln gezählt, welche ihrerseits wiederum Fertigungsmittel darstellen. Die Einteilung der Fertigungsmittel ist in Abbildung 6 dargestellt.

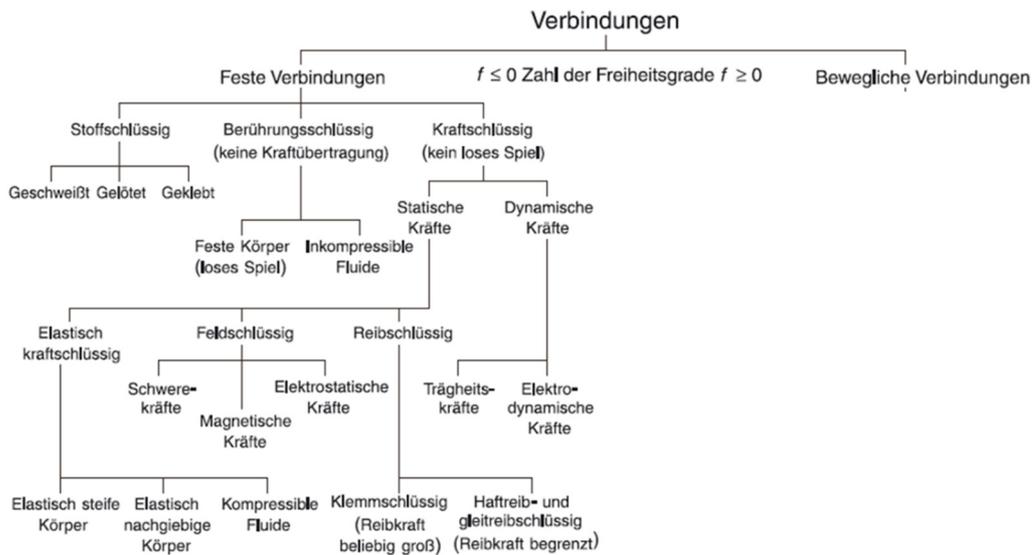


**Abbildung 6: Einteilung der Fertigungsmittel. Die Fertigungsmittel teilen sich in Werkzeugmaschinen und Betriebsmittel auf. Vorrichtungen zählen zu den Betriebsmitteln. [8, S. 2]**

Als Spannen wird „das vorrübergehende Sichern eines Körpers in einer definierten Orientierung und Position unter Beteiligung von Kraftschluss“ [8] bezeichnet. Wenn nur Formschluss wirkt, wird die Funktion als „Halten“ bezeichnet. Viele Vorrichtungen dienen dem Befestigen von Werkstücken und werden als Spannvorrichtungen bezeichnet. Spannvorrichtungen können bei der Prüfung von Bauteilen dazu verwendet werden, die Bauteile für die Dauer einer Messaufgabe zu befestigen. Ein Körper hat im Raum sechs Freiheitsgrade (Translation in die x-, y- und z-Richtung und Rotation um die x-, y- und z-Achse). Für einen Messvorgang müssen dem zu prüfenden Bauteil alle Freiheitsgrade entzogen werden, sofern allein das Eigengewicht dazu nicht ausreicht.

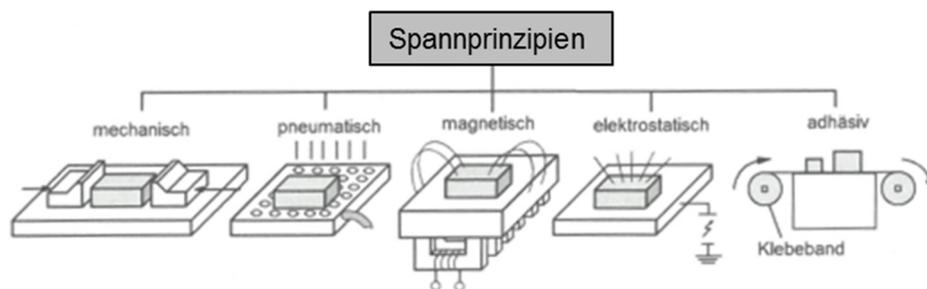
Der Ablauf des Spannvorgangs ist abhängig von der Spannaufgabe und der erforderlichen Spannkraft. Spannaufgaben unterscheiden sich hauptsächlich in der Anzahl der zu spannenden Bauteile sowie deren Form, Masse und Größe. Die Spannkraft wird durch wirkende Prozesskräfte, wie zum Beispiel die Antastkraft des taktilen Sensors eines Koordinatenmessgerätes bestimmt.

Das Übertragen der Spannkraft auf das zu spannende Bauteil durch geeignete Spannelemente erfolgt durch Kraftschluss. Der Spannzustand ergibt sich aus den physikalischen Möglichkeiten zwei Körper fest miteinander zu verbinden. In der Abbildung 7 sind die Möglichkeiten der festen Verbindungen nach ihren Schlussarten eingeteilt.



**Abbildung 7: Einteilung der festen Verbindungen nach ihren Schlussarten. Die Schlussarten unterteilen sich in Stoffschluss, Berührungs- beziehungsweise Formschluss und Kraftschluss. [9, S. 3]**

Aus den unterschiedlichen Möglichkeiten, die Spannelemente einer Spannvorrichtung mit dem zu spannenden Bauteil fest zu verbinden, resultieren mögliche Spannprinzipien. Ausgewählte Spannprinzipien sind in der Abbildung 8 dargestellt.



**Abbildung 8: Übersicht der möglichen Spannprinzipien für Spannvorrichtungen. Die Spannprinzipien ergeben sich aus den physikalischen Möglichkeiten zwei Körper fest miteinander zu verbinden. [8, S. 2]**

Im Folgenden werden, die für die vorliegende Arbeit wichtigen Begriffe aus dem Vorrichtungsbau definiert:

**Lage**

Die Lage drückt die räumliche Anordnung eines Körpers aus. Sie wird definiert durch die Position und Orientierung (Drehlage) des Körpers. Die Position eines Körpers ist der Ort, den ein bestimmter körpereigener Punkt im Bezugskordinatensystem einnimmt. Die Orientierung beziehungsweise Drehlage eines Körpers ist die Winkelbeziehung zwischen den Achsen des körpereigenen Koordinatensystems und denen des Bezugskordinatensystems.

**Handhaben**

Das Handhaben ist das Schaffen, definierte Verändern oder vorübergehende Aufrechterhalten einer vorgegebenen räumlichen Anordnung von geometrisch bestimmten Körpern in einem Bezugskordinatensystem.

**Positionieren und Orientieren**

Der Vorgang des Positionierens und Orientierens bringt das zu prüfende Bauteil oder die gesamte Vorrichtung aus einer unbestimmten in eine definierte und reproduzierbare Lage (Position und Orientierung beziehungsweise Drehlage).

**Spannen und Lösen**

Das Spannen ist das Sichern der durch den Positioniervorgang erreichten Bauteillage unter Beteiligung von Kraftschluss. Das Freigeben des zu prüfenden Bauteils aus der Spannung wird als Lösen bezeichnet.

### 3 Stand der Technik – Spannen von dünnwandigen Kleinteilen

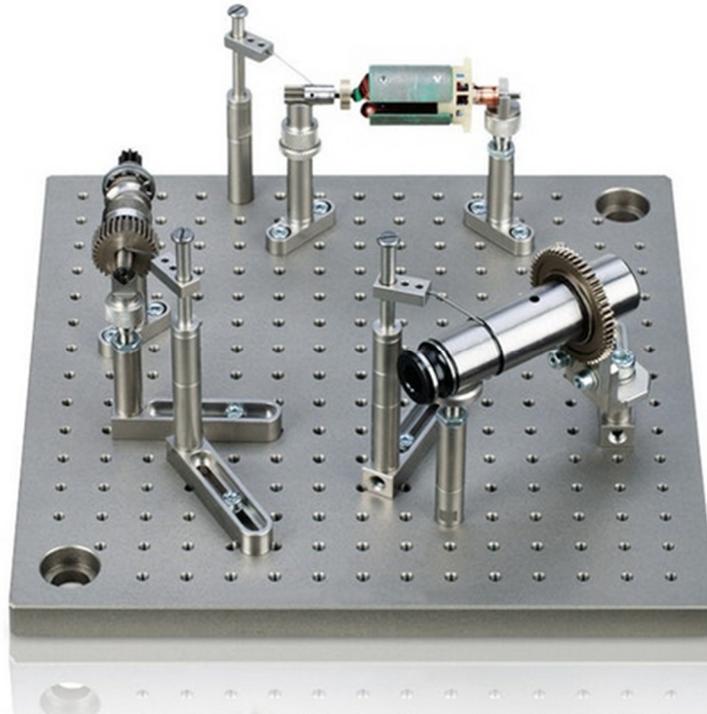
Im folgenden Kapitel soll der derzeitige Stand der Technik bezüglich des Spannens von dünnwandigen Bauteilen mit Abmessungen bis in den Bereich weniger Millimeter aufgezeigt werden.

Die stetige Miniaturisierung von Bauteilen machen das Handhaben der betroffenen Bauteile zu einer Herausforderung. Konventionelle Spannmittel reichen hier oft nicht mehr aus um zuverlässige Ergebnisse sicherzustellen. Auch das Anpassen und Herunterskalieren von bekannten Lösungen aus der Makrowelt stellt oft keine geeignete Lösung dar.

Mit der Miniaturisierung steigen auch die Anforderungen an die Spannmittel zur Prüfung von Bauteilen. Die wesentlichen Forderungen nach einer minimalen Spannkraft während eine maximale Zugänglichkeit der Prüfmerkmale gewährleistet wird, erfordern innovative Lösungen.

Nach Internetrecherchen sind einige Hersteller am Markt vertreten, die Spannvorrichtungen für die Prüfung von Bauteilen anbieten.

Der Hersteller *Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH*, der Koordinatenmessmaschinen vertreibt, bietet verschiedene Messaufnahmesysteme an. Zum Spannen von Kleinteilen hat er das modulare Messaufnahmesystem *ZEISS CARFIT CMK* entwickelt (Abbildung 9). Mithilfe des Systems können sowohl prismatische als auch rotationssymmetrische Teile in einer definierten Lage für einen Messvorgang fixiert werden. Mit einem Vorrichtungsbaukasten können verschiedenartige Vorrichtungen in kurzer Zeit aufgebaut und nach Gebrauch wieder zerlegt werden. Die Anpassung an die verschiedenen Abmessungen der zu spannenden Bauteile erfolgt durch Einstellen, Austauschen oder Umsetzen von Vorrichtungsbau-elementen.



**Abbildung 9: Messaufnahmesystem CAR FIT CMK vom Hersteller Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH. Hauptkomponenten sind Lochrasterplatte und Aufbauelemente. Das Baukastensystem zur Aufnahme von Kleinteilen (prismatisch und rotatorisch) erlaubt die modulare Verwendbarkeit der Aufbauelemente. [10]**

Der Hersteller *dk Fixiersysteme GmbH & Co. KG* hat mehrere einfach aufgebaute Vorrichtungen zum Messen von rotationssymmetrischen Bauteilen entworfen. Eine Auswahl ist in Abbildung 10 dargestellt.



**Abbildung 10: Ausgewählte Kleinteilespanner vom Hersteller *dk Fixiersysteme GmbH & Co. KG* für rotationssymmetrische Bauteile. Die Ausführung unterteilt sich in Horizontalprisma (links), Außenklemmung (Mitte) und Innenklemmung (rechts). Die Vorteile der beiden rechten Varianten sind die formerhaltenden Spannbacken, die die Flächenpressung minimieren. Die Betätigung erfolgt durch Schraubendrehung per Handkraft. [11, S. 97 ff]**

Des Weiteren hat derselbe Hersteller zum Spannen von kubischen und rotationssymmetrischen Bauteilen Mikro-Fixiereinrichtungen entworfen (Abbildung 11). Der Vorteil dieser Art von Vorrichtungen ist die Aufbringung einer fein dosierbaren Spannkraft.



**Abbildung 11: Mikro-Fixiereinrichtung vom Hersteller *dk Fixiersysteme GmbH & Co. KG*. Die Spannkraft kann einerseits über eine schiefe Ebene erzeugt werden (links) und durch die Zugabe von kleinen Gewichtskugeln verändert werden (linkes Beispiel). Andererseits bringen mehrere Mikrofedern eine einstellbare Fixierkraft auf (rechts). [11, S. 216]**

Der Hersteller *MATRIX GmbH* stellt eine Vorrichtung zur Verfügung, die die Bauteile hauptsächlich durch Formschluss und nur minimaler Spannkraft in Position hält (Abbildung 12). Dadurch können auch sehr fragile Teile sicher fixiert werden.



**Abbildung 12:** Spannsystem *BLUE CLAMP X-GRIP XS LIGHT* vom Hersteller *MATRIX GmbH*. Die Fixierung des Bauteils erfolgt durch Formschluss und minimaler Spannkraft. Einzeln gefederte Stößel legen sich exakt an die Kontur des zu spannenden Bauteils. Der Vorteil liegt in dem formhaltenden Negativabbild im Stößelfeld. Spannmarken am Bauteil werden vermieden, indem die Flächenpressung minimiert wird. [12]

Bei der Marktrecherche fällt auf, dass der Fokus der Hersteller, auf hoher Flexibilität der Spannvorrichtungen im Hinblick auf die unterschiedlichen Abmessungen der zu spannenden Bauteile liegt. Das spiegelt sich in dem breiten Sortiment von Baukastensystemen aber auch flexibler Stößelfelder wieder. Spannvorrichtungen speziell für runde und dünnwandige Kleinteile stellen einen noch nicht vollkommen erschlossenen Markt dar.

Zusammenfassend lässt sich aus dem dargestellten Stand der Technik folgende Motivation für die vorliegende Arbeit ableiten:

Es soll eine größenangepasste Spannvorrichtung entworfen werden, die eine gerade ausreichende Spannkraft aufbringt und eine stabile Fixierung der unterschiedlich großen Bauteile erlaubt. Es soll dabei nur eine minimale Fläche am Bauteil überdeckt werden und somit eine hohe Tasterzugänglichkeit gewährleistet werden. Das Bauteil und die Vorrichtungsbaulemente dürfen dabei nicht verformt werden. Die Erfüllung des optimalen Gleichgewichtes zwischen diesen gegenläufigen Forderungen, gilt es bei der Lösungsfindung im Rahmen der Konstruktionsaufgabe zu gewährleisten.

## 4 Methodisches Konstruieren

In den folgenden Kapiteln wird basierend auf der in Kapitel 2.1 behandelten Theorie ein Konzept methodisch erarbeitet, bewertet und detailliert.

### 4.1 Aufgabenstellung

Dieses Kapitel dient der Klärung und Präzisierung der Aufgabe in Form einer informativen Festlegung. Es ergeben sich Anforderungen an das zu entwickelnde Konzept, die in einer Anforderungsliste zusammengetragen werden.

#### 4.1.1 Status Quo

Zu Beginn gilt es, alle für die Konstruktionsaufgabe relevanten Rahmenbedingungen zu identifizieren. Diese wurden mithilfe eines Brainstormings ermittelt und in einer Mindmap zusammengetragen (Abbildung 13).

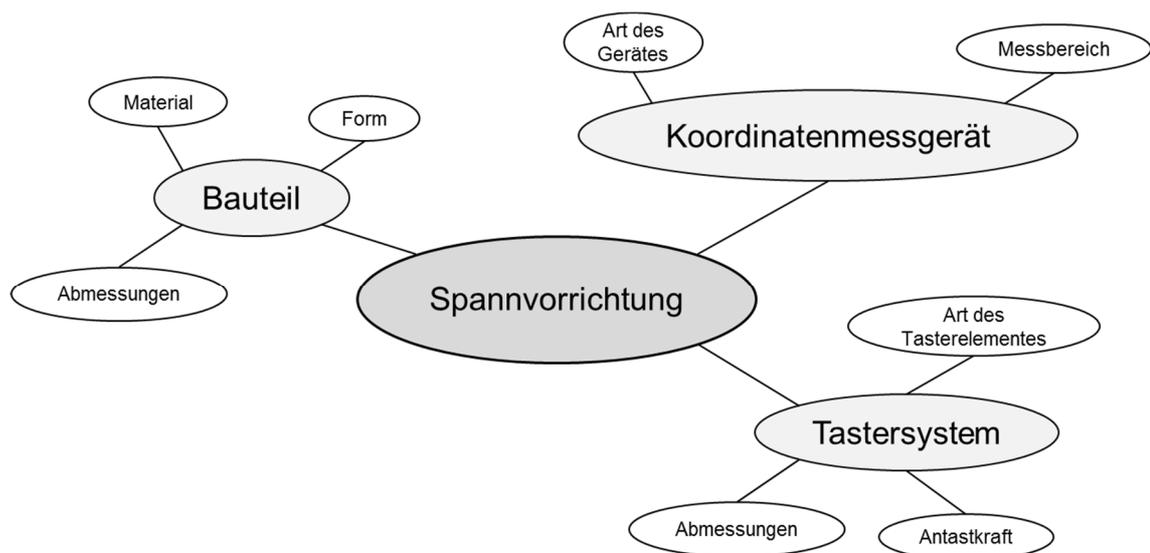
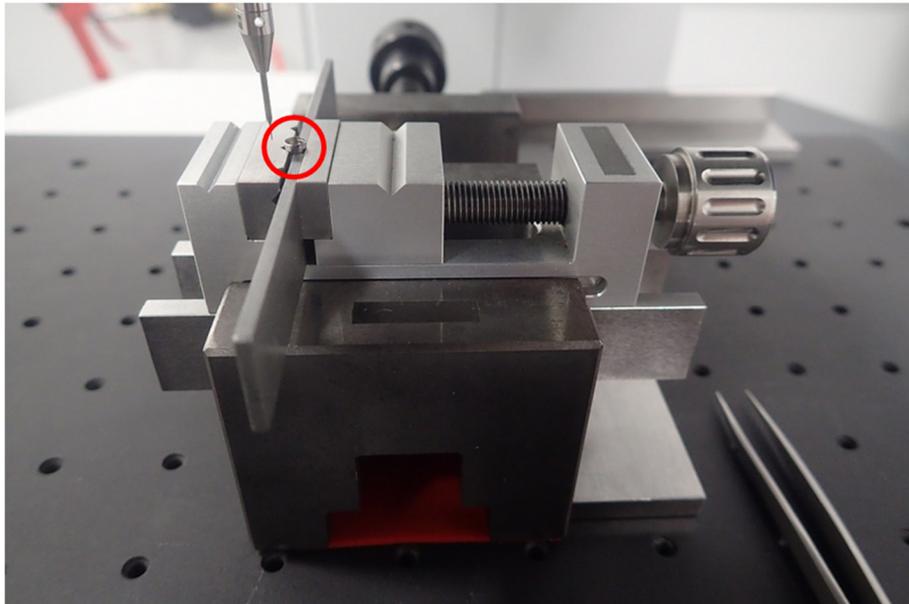


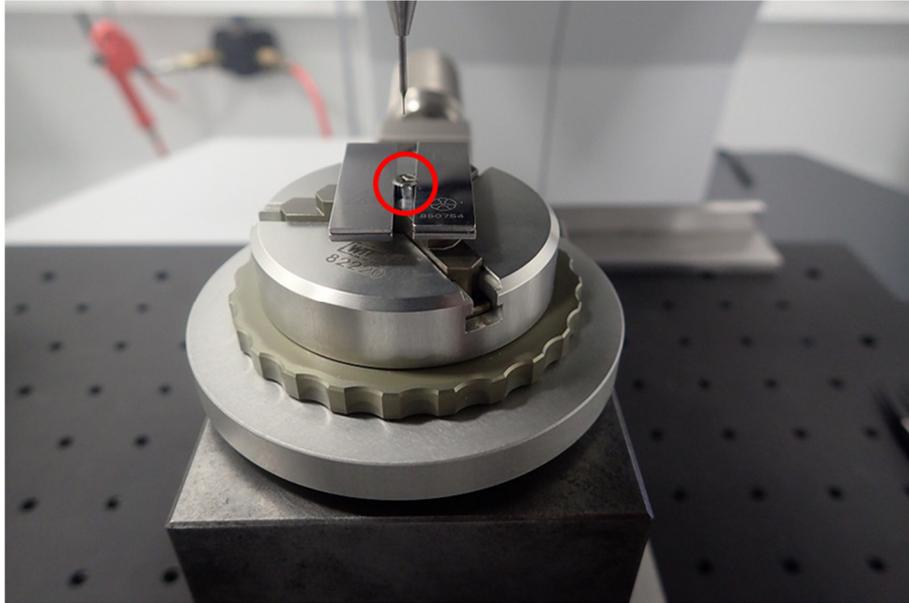
Abbildung 13: Mindmap für die informative Festlegung der Konstruktionsaufgabe. Ausgehend von dem zentralen Thema werden mit dem Prinzip der Assoziation die relevanten Rahmenbedingungen identifiziert. An diese schließen sich weitere relevante Themen an.

Die Aufgabe wird mit einer Auswahl an Bauteilen, die für eine Prüfung auf dem KMG zu fixieren sind, angestoßen. Die Bauteile werden im Rahmen der Arbeit als Stellvertreter für die Gruppe der dünnwandigen Drehteile mit Abmessungen bis in den Bereich weniger Millimeter festgelegt. Die Abmessungen werden mit Durchmesser x Höhe bis zu (15 x 15) mm bestimmt, wobei der Durchmesser immer größer oder gleich der Höhe sein soll. Das Material der Teile soll X 8 CrNiS 18-9 (Edelstahl) sein. Eine Eigenschaft des Materials ist, dass es nicht beziehungsweise nur schwach magnetisierbar ist. Die zu entwerfende Spannvorrichtung wird am Beispiel dieser Bauteile beschrieben und an diese gebunden sein.

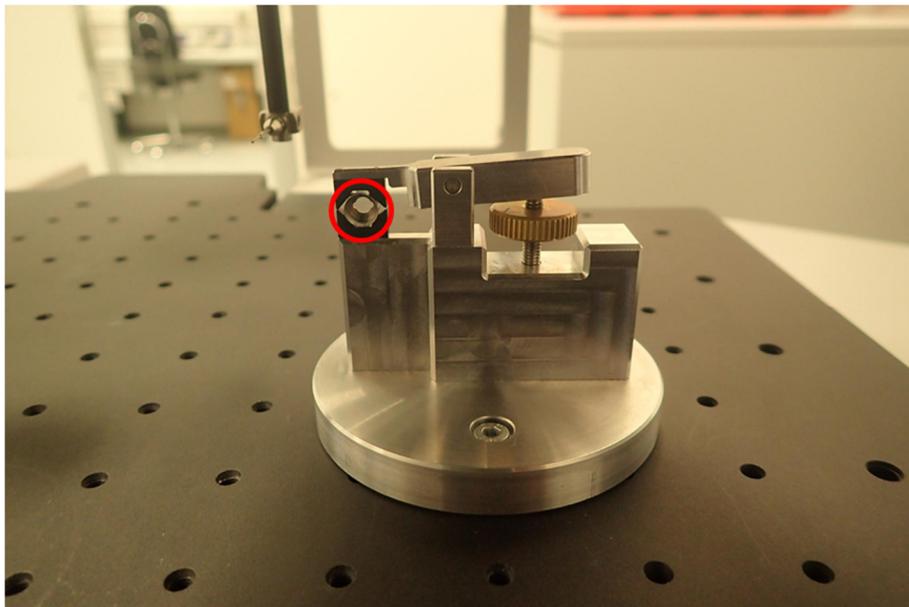
Im Folgenden sind ungeeignete Spannlösungen für ausgewählte Bauteile, die den obigen Kriterien entsprechen, abgebildet. Es handelt sich um Bauteile von flexiblen und starren Endoskopen des Herstellers für Medizintechnik Produkte *Olympus Surgical Technologies Europe*. Die genauen Defizite sind den folgenden Abbildungen (Abbildung 14, Abbildung 15 und Abbildung 16) zu entnehmen.



**Abbildung 14: Ungeeignete Spannlösung: Improvisierter Zusammenbau von zwei Schraubstöcken. Die Ausrichtung des unteren Schraubstocks, der auf einem Stück Antirutschmatte liegt, erfolgt mit einem Anschlagwinkel. Der obere Schraubstock wird zwischen den unteren auf zwei Parallelendstücken gespannt. Ein Parallelendstück dient als Auflagefläche. Die Spannbacken überdecken einen großen Teil der Außenfläche des Bauteils (roter Kreis). Die Spannkraft kann das Bauteil verformen. [7]**



**Abbildung 15: Ungeeignete Spannlösung: Hochgestelltes Dreibackenspannfutter. Zwei Parallelendstücke auf jeder Seite des Bauteils (roter Kreis) dienen als Auflage. Aufgrund der Klemmung von Innen, ist das Bauteil an der Innenfläche nicht zugänglich für den Taster. Die Spannkraft kann das Bauteil verformen. [7]**



**Abbildung 16: Ungeeignete Spannlösung: Spannvorrichtung mit Betätigung durch eine Rändelschraube. Spannbacken aus Kunststoff können das zu spannende Bauteil (roter Kreis) schonen. Die Spannkraft wird durch die Drehung einer Rändelschraube erzeugt und ist nicht begrenzt. Die breiten Spannbacken überdecken die Außenfläche des Bauteils über den vollen Umfang. [7]**

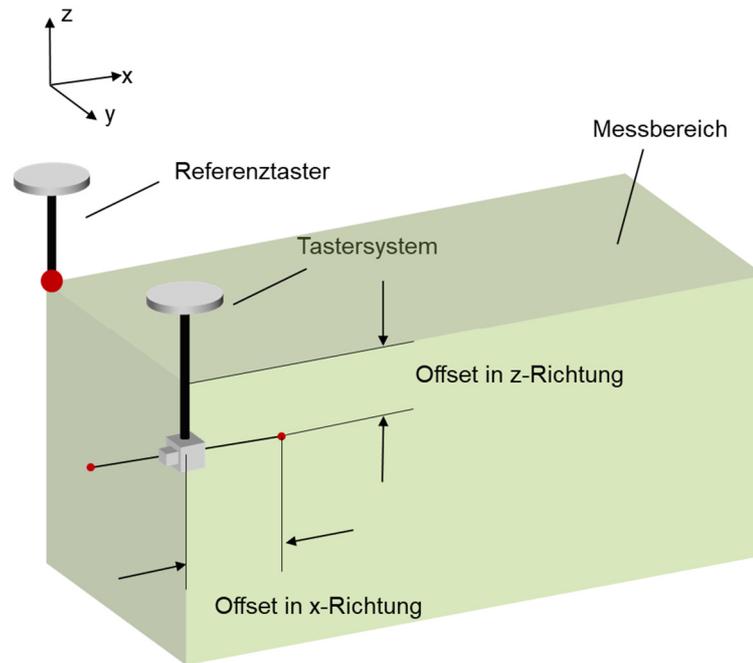
Die Spannvorrichtung wird für das KMG *O-INSPECT 322* (vgl. Kapitel 2.2) des Herstellers *Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH* entworfen. Der Messbereich dieses Gerätes be-

trägt in x-, y- und z-Koordinatenrichtung des KMG (300 x 200 x 200) mm und wird durch den Referenzkaster begrenzt. Für die Prüfung von dünnwandigen Bauteilen, mit Abmessungen bis in den Bereich weniger Millimeter, kommen laut Herstellerangabe Tastersysteme mit  $\varnothing 0,3$  mm und  $\varnothing 0,6$  mm zum Einsatz (Abbildung 17). Seltener können auch Tastersysteme mit  $\varnothing 1$  mm und  $\varnothing 1,5$  mm eingesetzt werden. Das Tasterelement ist in jedem Fall eine Ru-  
binkugel.



**Abbildung 17: Auswahl an Tastersystemen für die Prüfung von dünnwandigen Drehteilen mit Abmessungen im Bereich weniger Millimeter auf einem KMG. Es kommen hauptsächlich Taster  $\varnothing 0,3$  mm (beide links) und  $\varnothing 0,6$  mm (beide rechts) zum Einsatz. [7]**

Die Tastersysteme haben in x- und in z-Koordinatenrichtung des KMG einen Offset zum Referenzkaster (Abbildung 18). Dadurch wird der Messbereich begrenzt und der für eine Spannvorrichtung maximal verfügbare Bauraum wird nach Abzug des maximal möglichen Offsets in x-, y- und z- Koordinatenrichtung zu (170 x 250 x 190) mm bestimmt. Der Abzug in y-Koordinatenrichtung geschieht ausschließlich zur Sicherheit.



**Abbildung 18: Eingrenzung des Messbereichs der KMG durch das Tastersystem. Durch das Tastersystem entsteht zum Referenztaster ein Offset in x- und z-Koordinatenrichtung welches den verfügbaren Messbereich einschränkt.**

Schließlich muss die wirkende Prozesskraft bestimmt werden. Im Fall einer Spannvorrichtung, welche die zu prüfenden Bauteile auf einem KMG fixieren soll, ist das die Antastkraft. Exakte Werte können für das Gerät nicht angegeben werden. Die Werte für Antastkräfte liegen laut Herstellerangabe zwischen ca. 8 mN bis ca. 100 mN. Für den weiteren Verlauf der Arbeit wird die Antastkraft mit dem maximal möglichen Wert von 0,1 N angenommen.

#### 4.1.2 Anforderungsliste

Eine wesentliche Forderung an die Spannvorrichtung ist, eine gerade ausreichende Spannkraft aufzubringen, die eine mögliche Bewegung des zu prüfenden Bauteils aufgrund der wirkenden Antastkraft verhindert. Dabei sind die Flächen des zu spannenden Bauteils durch Vorrichtungsbaulemente so gering wie möglich zu überdecken um somit eine hohe Tasterzugänglichkeit zu gewährleisten. Das Bauteil und die Vorrichtung dürfen dabei nicht verformt werden. Zudem ist eine hohe Flexibilität der Vorrichtung im Hinblick auf die Abmessungen des zu spannenden Bauteils gefordert. Die Wünsche nach einem schnellen Einspannvorgang und einer einfachen Lösung der Spannverbindung erhalten eine sehr hohe Gewichtung. In der Tabelle 7 ist die erarbeitete Anforderungsliste aufgeführt.

**Tabelle 7: Anforderungsliste. Die Anforderungen für eine Spannvorrichtung zur Prüfung von dünnwandigen Kleinteilen auf einem Koordinatenmessgerät wurden nach Hauptmerkmalen, wie beispielsweise Geometrie oder Kinematik, geordnet.**

			<b>Anforderungsliste</b>	
			für eine Spannvorrichtung zur Prüfung von dünnwandigen Kleinteilen auf einem Koordinatenmessgerät	
			erstellt am:	09.04.2018
			erstellt von:	Maciej Likowski
Nr.	Änderung / Datum	F / W	Beschreibung / Name der Anforderung	Bemerkung
<b>1 Geometrie</b>				
1	09.04.2018	F	Bauraum für die Vorrichtung h x b x t max. (170 x 250 x 190) mm	Messbereich des KMG Zeiss O-Inspect 322 (x = 300mm, y = 200mm, z = 200mm) minus den jeweiligen Offset des längsten Tasters zum Referenztaster
2	09.04.2018	F	Flexibles Spannen von dünnwandigen Drehteilen mit d x h bis zu (15 x 15) mm mit der Bedingung $d \geq h$	
3	09.04.2018	F	Bauraum für das zu spannende Bauteil h x b x t bis zu (15 x 15 x 15) mm	Der Bauraum ergibt sich aus d x h bis zu (15 x 15) mm, wobei der Durchmesser immer größer oder mindestens gleich der Höhe ist
4	09.04.2018	F	Überdeckte Fläche des zu spannenden Bauteils durch Spannelemente minimal	
5	09.04.2018	F	Vorrichtungsgrundkörper mit Anschlagflächen ausführen	Anschlagflächen dienen der Positionierung der Vorrichtung auf dem Maschinentisch
6	09.04.2018	F	Vorrichtung auf dem Maschinentisch durch Eigengewicht und Antirutschmatte festlegen	
7	09.04.2018	W3	Anzahl der Vorrichtungsbaulemente minimal	
<b>2 Kinematik</b>				
1	09.04.2018	F	Keine Relativbewegungen zwischen Spannelementen und Bauteil	
2	09.04.2018	F	Reproduzierbarkeit der festgelegten Lage des zu spannenden Bauteils in der Vorrichtung	
3	09.04.2018	F	Keine Bewegung des Bauteils im eingespannten Zustand infolge der max. möglichen Antastkraft von 0,1 N	
4	13.04.2018	W4	Einfache Lösbarkeit der Verbindung Spannelement und Bauteil	
5	09.04.2018	W4	Dauer des Spannvorgangs max. 15 s	
<b>3 Kräfte</b>				
1	09.04.2018	F	Stabile Fixierung durch eine gerade ausreichende Spannkraft	
2	09.04.2018	F	Keine Verformung des Bauteils durch lokale Spannkraftspitzen	
3	09.04.2018	F	Keine Verformung der Vorrichtungsbaulemente infolge der max. möglichen Antastkraft von 0,1 N	
4	09.04.2018	F	Gewicht der Vorrichtung max. 5 kg	
<b>4 Energie</b>				
1	13.04.2018	F	Keine Einbringung von thermischer Energie in das zu spannende Bauteil	
2	13.04.2018	W3	Keine ständige Energiezufuhr nötig	
<b>5 Stoff</b>				
1	13.04.2018	W4	Keine Rückstände jeglicher Art am Bauteil nach dem Spannen	
<b>6 Sicherheit</b>				
1	09.04.2018	F	Alle Kanten gratfrei	
<b>7 Ergonomie</b>				
1	09.04.2018	F	Personenbedarf (1)	
<b>8 Fertigung</b>				
1	09.04.2018	F	Fertigungsgerechte Gestaltung	
2	09.04.2018	W2	Additives Fertigungsverfahren	"3D-Druck"
<b>9 Montage</b>				
2	13.04.2018	W1	Keine spezielle Qualifikation für die Montage nötig	
<b>10 Instandhaltung</b>				
1	09.04.2018	F	Anzahl Zyklen min. 1000	
2	13.04.2018	F	Reinigbarkeit der Kontaktflächen zwischen Vorrichtung und zu spannendem Bauteil	
4	09.04.2018	W3	Ausführung wartungsarm	
<b>11 Transport</b>				
1	09.04.2018	F	Lagerung erfolgt in einem Stahlregal	
2	09.04.2018	F	Transport erfolgt in einer Extra-Box	
<b>12 Recycling</b>				
1	16.04.2018	F	Spannelemente nach einem Spannvorgang wiederverwendbar	
<b>13 Kosten</b>				
1	09.04.2018	W1	Gesamtkosten max. 1000 Euro	
<b>14 Termine</b>				
1	09.04.2018	F	Entwicklungszeitraum max. 13 Wochen	

**Anforderungsarten:** F = Forderung; W = Wunsch **Priorisierung der Wünsche:** W1 = gering; W2 = mittel; W3 = hoch; W4 = sehr hoch

## 4.2 Lösungsfindung

Im folgenden Kapitel werden mithilfe des morphologischen Kastens prinzipielle Lösungen erarbeitet. Nach einer Bewertung der Lösungsvarianten wird schließlich die Lösung mit der höchsten Wertigkeit als endgültiges Konzept festgelegt.

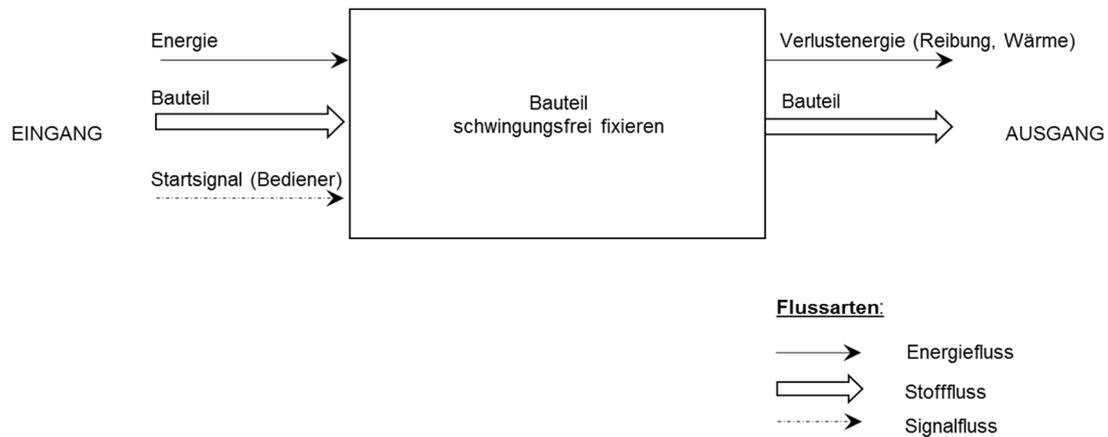
### 4.2.1 Black-Box-Darstellung

Zunächst wird die Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit auf das wesentliche Problem abstrahiert. Der Wesenskern der Aufgabenstellung ist die Fixierung eines festen Körpers. Ausgehend von dieser lösungsneutral formulierten Aufgabenstellung und der erarbeiteten Anforderungsliste wird die Problemstellung ebenfalls lösungsneutral formuliert (Tabelle 8).

**Tabelle 8: Formulierung einer lösungsneutralen Problemstellung auf Basis einer vorliegenden Anforderungsliste. Das Ergebnis (5. Schritt) ist die Formulierung einer lösungsneutralen Problemstellung.**

Formulierung einer lösungsneutralen Problemstellung	
<b>Vorgehen</b>	
<b>1. Schritt</b>	Wünsche (W) weglassen
<b>2. Schritt</b>	Nur noch Forderungen (F) berücksichtigen, die die <b>Funktionen</b> und <b>wesentlichen</b> Bedingungen unmittelbar betreffen
<b>3. Schritt</b>	<b>Quantitative</b> Angaben in <b>qualitative</b> Aussagen umwandeln und dabei auf die wesentlichen Aussagen reduzieren
<b>4. Schritt</b>	Erkanntes sinnvoll erweitern
<b>5. Schritt</b>	Problem lösungsneutral formulieren
<b>Ergebnis</b>	
<b>1. und 2. Schritt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zu spannende Bauteile sind dünnwandig</li> <li>• Zu spannende Bauteile sind Drehteile, zylindrische und rotationssymmetrische Teile die sich in Durchmesser und Höhe unterscheiden können</li> <li>• Überdeckte Fläche des zu spannenden Bauteils durch Spannelemente gering</li> <li>• Reproduzierbarkeit der festgelegten Lage des Bauteils in der Vorrichtung</li> <li>• Keine Änderung der festgelegten Lage des Bauteils in der Vorrichtung im eingespannten Zustand infolge der Antastkraft aufgrund einer gerade ausreichenden Spannkraft</li> <li>• Keine Verformung des zu spannenden Bauteils durch lokale Spannkraftspitzen</li> <li>• Keine Verformung der Vorrichtungsbaulemente infolge der Antastkraft</li> <li>• Keine Einbringung von thermischer Energie in das zu spannende Bauteil</li> <li>• Spannelemente nach einem Spannvorgang wiederverwendbar</li> </ul>
<b>3. und 4. Schritt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dünnwandige Drehteile mit unterschiedlichen Abmessungen</li> <li>• In einer Aufspannung möglichst alle Prüfmerkmale erreichen</li> <li>• Keine Änderung der festgelegten Lage des Bauteils aufgrund einer gerade ausreichenden Spannkraft</li> <li>• Keine Verformung des zu spannenden Bauteils und der Vorrichtungsbaulemente</li> </ul>
<b>5. Schritt</b>	Dünnwandige Drehteile mit unterschiedlichen Abmessungen reproduzierbar und schwingungsfrei fixieren, so dass möglichst alle Prüfmerkmale in einem Messvorgang erreicht werden können, ohne die Teile zu verformen sowie Temperaturschwankungen auszusetzen.

Im Anschluss wird die abstrahierte Problemstellung aus dem vorangegangenen Schritt als Gesamtfunktion in einer Black-Box-Darstellung (Abbildung 19) formuliert. Die abstrahierte Gesamtfunktion ist es ein Bauteil schwingungsfrei zu fixieren. Diese Darstellung dient dazu, das Problem von außen zu betrachten.



**Abbildung 19: Black-Box-Darstellung der Gesamtfunktion. Die lösungsneutrale Problemstellung wird als abstrahierte Gesamtfunktion *Bauteil schwingungsfrei fixieren* formuliert, die eine Betrachtung des Problems von außen erlaubt.**

#### 4.2.2 Funktionsanalyse

Durch die Funktionsanalyse wird die abstrahiert formulierte Gesamtfunktion in Teilfunktionen mit Teilaufgaben gegliedert. Zur Ermittlung der Teilfunktionen ist es zweckmäßig den Grundaufbau einer Spannvorrichtung zur Anwendung auf einem KMG durch Auflistung der vorgefundenen Vorrichtungsbaulemente zu beschreiben (Abbildung 20).

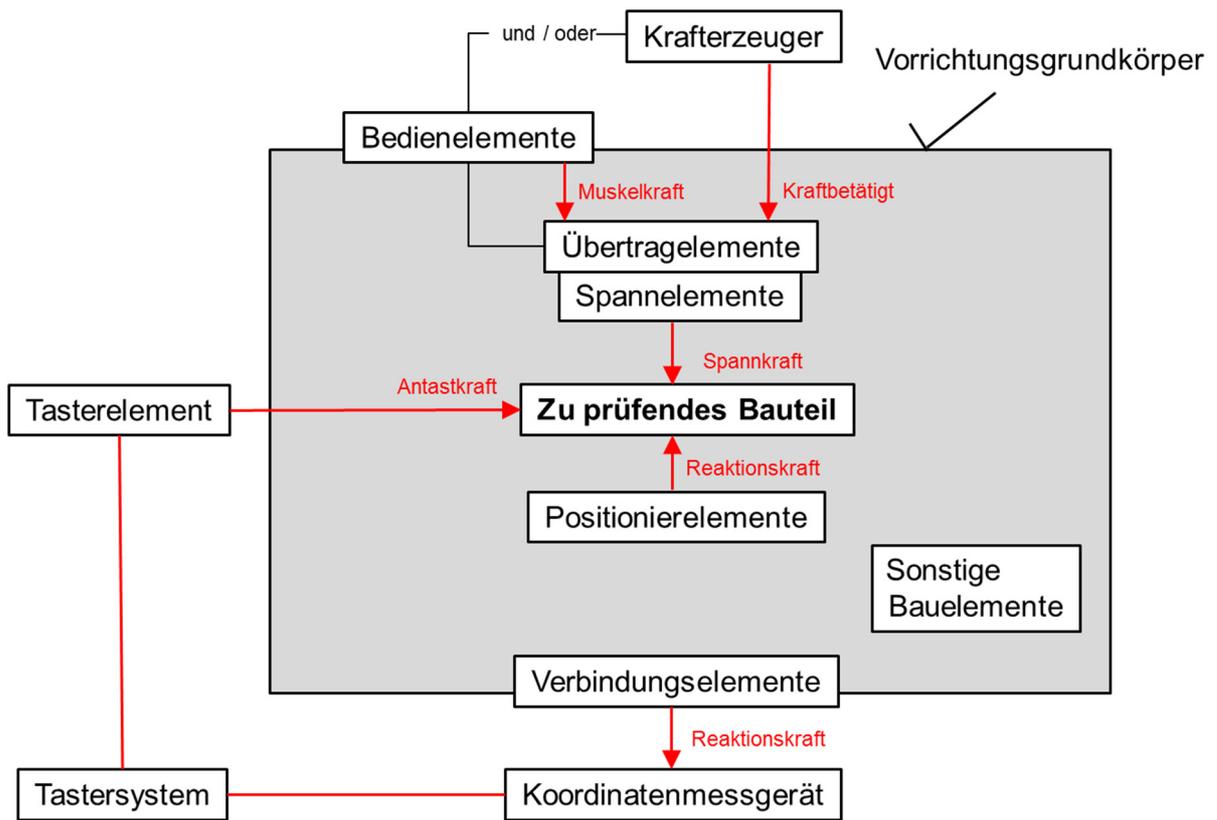


Abbildung 20: Schematische Darstellung des Grundaufbaus einer Spannvorrichtung. Die Vorrichtungselemente werden auf dem Vorrichtungsgrundkörper zu einer Vorrichtung zusammengesetzt. [nach 8, S. 18]

Zusätzlich macht es Sinn, die für einen Spannvorgang nötigen Handhabungsschritte aufzulisten und jedem Schritt die beteiligten Vorrichtungsbauelemente zuzuweisen. Mithilfe dieses Vorgehens können die für die Konstruktionsaufgabe relevanten Teilfunktionen abgeleitet werden (Tabelle 9).

**Tabelle 9: Untergliederung der abstrahiert formulierten Gesamtfunktion in Teilfunktionen. Die Untergliederung erfolgt anhand der Handhabungsschritte während eines Spannvorgangs sowie der beteiligten Vorrichtungsbaulemente. Die Handhabungsschritte untergliedern sich in einmalige und wiederholende Schritte.**

Gesamtfunktion: Bauteil schwingungsfrei fixieren			
Handhabungsschritte	Beteiligte Vorrichtungsbaulemente	Abgeleitete Teilfunktionen	
<b>Einmalig</b> für die Dauer einer Messaufgabe			
Positionieren der Vorrichtung auf dem Maschinentisch	Vorrichtungsgrundkörper	Vorrichtung	Positionieren
Sichern der Vorrichtung auf dem Maschinentisch	Verbindungselemente		Sichern
<b>Ständig</b> bei Wiederholung von Arbeitsoperationen innerhalb der Messaufgabe			
Einlegen des Bauteils in die Vorrichtung	Positionierelemente	Bauteil	Positionieren (Bauteilauflage)
Positionieren des Bauteils			
Festlegen des Bauteils	Übertrag- und Spannelemente; Bedienelemente und/oder Krafterzeuger		Spannen und Lösen (Spannprinzip)
Lösen des Bauteils			
Entnahme des Bauteils aus der Vorrichtung			

### 4.2.3 Morphologischer Kasten

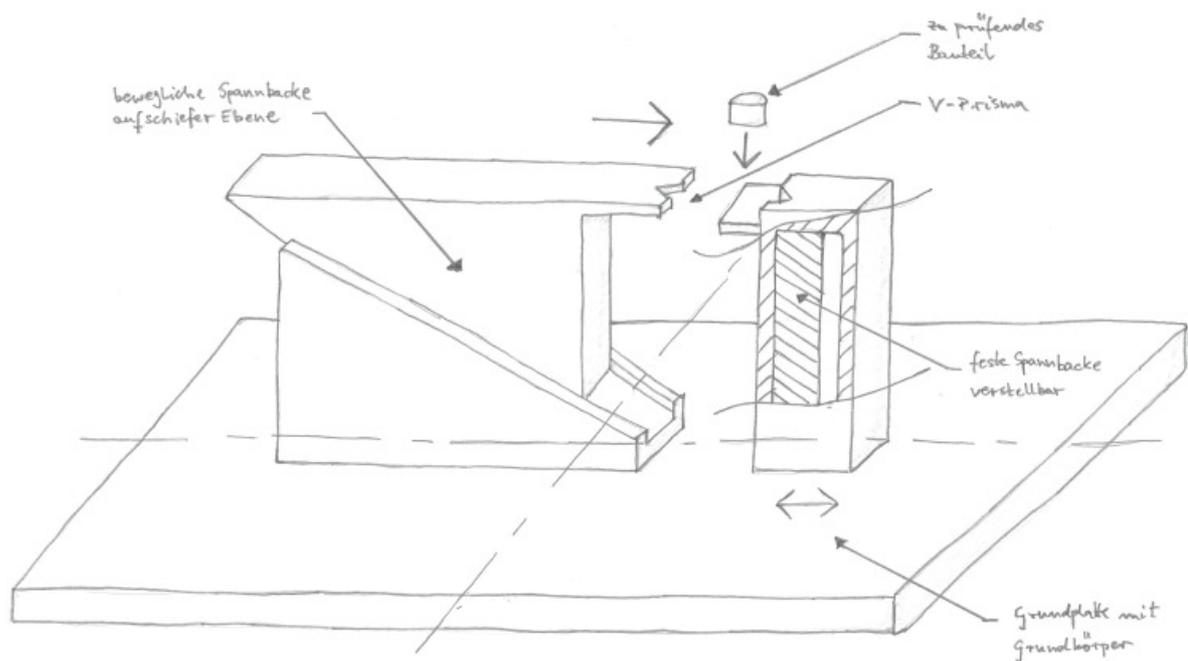
Mithilfe des morphologischen Kastens (Tabelle 10) werden für die ermittelten Teilfunktionen ein breites Feld von Teillösungen aufgestellt. Die Kombination verträglicher Teillösungen ergibt drei mögliche Lösungsvarianten.

Tabelle 10: Morphologischer Kasten. Die Kombination von miteinander verträglichen Teillösungen ergibt drei Lösungsvarianten.

Morphologischer Kasten		Teillösungen										
		Anschlagwinkel durch Anforderungsliste festgelegt										
		Eigengewicht der Vorrichtung mit Antirutschmatte durch Anforderungsliste festgelegt										
Teilfunktionen		V-Prisma	L-Prisma	U-Prisma	Nut 45° angeschrägt	Dreitegaufüge	Dreistiftaufüge	Bohrung	Stoßbleifeld	ebene Fläche		
Vorrichtung	Positionieren											
	Sichern											
Bauteil	Positionieren (Bauteilaufüge)											
	Spannen und Lösen (Spannprinzip)	Elektrostatisch	Permanentmagnet	Klebeband	Geffieren	Schalldruck	Vakuum	Löten	Luftstrom	Wärmedehnung / Formgedächtnistechnik (Spannen = Abkühlen, Lösen = Erwärmen)		
		Bandspannen	Spannkreuz mit Zusatzgewicht	Haffolien	Kleben	Spannbacke auf schiefer Ebene	Niedrigschmelzende Legierungen / Wachs / Epoxidharz aushärten	Zuckerlösung aufbringen und trocknen lassen (ergibt Stützstruktur aus Kristallen)	Magnetorheologische Flüssigkeit (Fließfähigkeit wird durch Magnetfeld beeinflusst)	Hebel mit Federdeformation (Druckfeder)		



Im folgenden Abschnitt folgt eine Vorstellung der ausgewählten Lösungsvarianten anhand anschaulicher Prinzipskizzen (Abbildung 21, Abbildung 22 und Abbildung 23). Die Teillösungen *Anschlagwinkel* und *Eigengewicht durch Antirutschmatte*, die durch die Anforderungsliste vorgegeben waren, werden in den Skizzen nicht dargestellt. Diese sind in Längmesslaboren meistens schon vorhanden und werden aus diesem Grund im weiteren Verlauf der Arbeit nicht beachtet.



**Abbildung 21: Prinzipskizze LV 1.** Die Vorrichtungsbaulemente sind auf einer Grundplatte angeordnet. Die feste Spannbacke wird auf einen Quader auf der Grundplatte gesteckt und hat Spiel in horizontaler Richtung. Die Arretierung erfolgt durch Reibschluss. Ein V-Prisma dient als Bauteilauflage und bindet zwei Freiheitsgrade mit den beiden Zentrierflächen. Das runde Bauteil wird unabhängig vom Durchmesser auf die Symmetrieachse des Prismas zentriert. Die Spannkraft wird durch die bewegliche Spannbacke erzeugt, die auf einer schiefen Ebene gleitet. Die Spannkraft kann durch das Gewicht der Spannbacke bestimmt werden und gerade so groß gewählt werden, wie für eine stabile Fixierung des zu prüfenden Bauteils nötig ist. Die Spannkraft wird in der Nähe der Bauteilauflage und senkrecht zu dieser, eingeleitet. Die Vorrichtung kann additiv mit Kunststoff gefertigt werden. Kunststoff schont die Flächen des zu spannenden Bauteils.

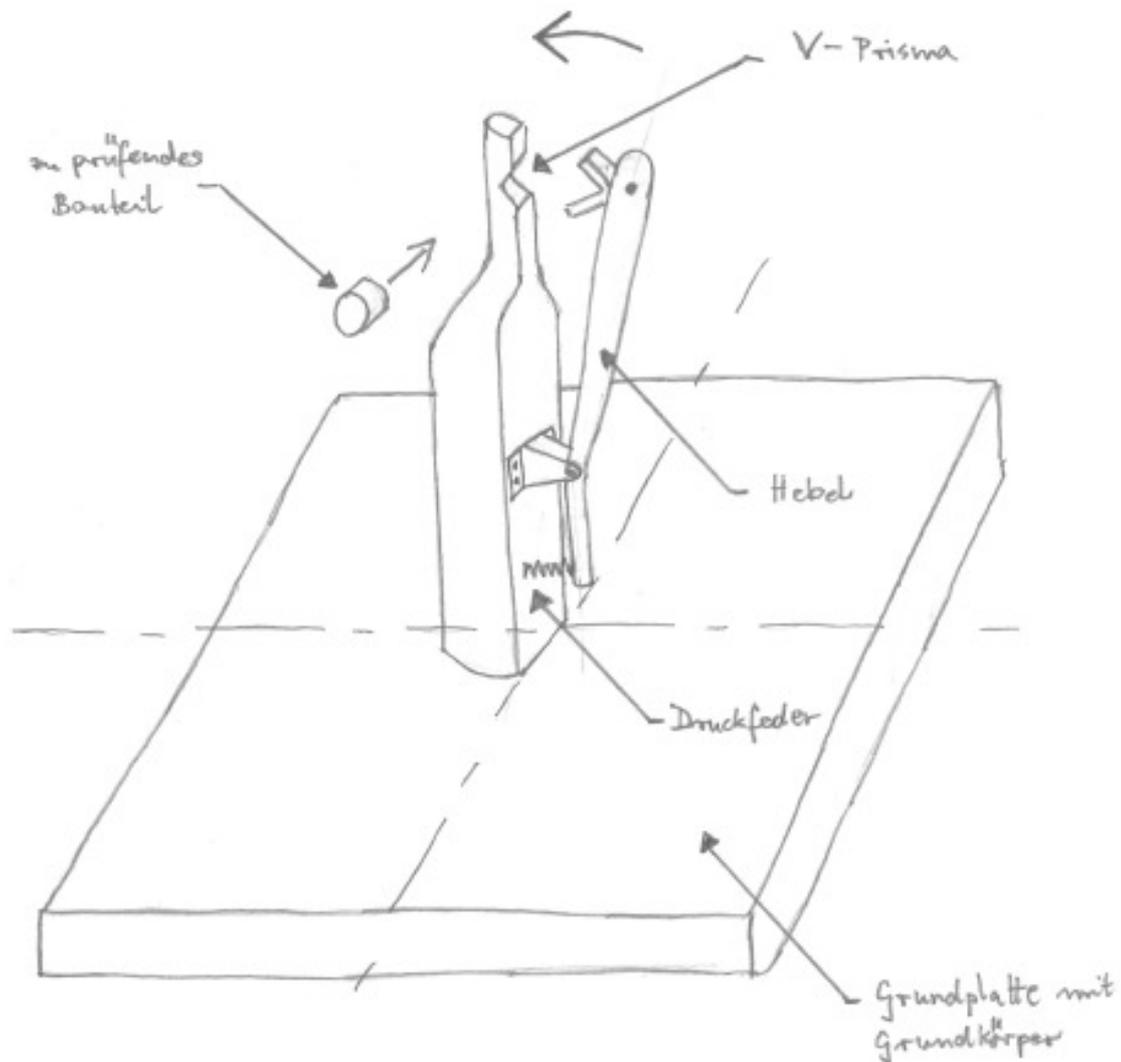


Abbildung 22: Prinzipskizze LV 2. Die Vorrichtungsbauerelemente sind auf einer Grundplatte angeordnet. Ein V-Prisma dient als Bauteilauflage und bindet zwei Freiheitsgrade mit den beiden Zentrierflächen. Das runde Bauteil wird unabhängig vom Durchmesser auf die Symmetrieachse des Prismas zentriert. Die Spannkraft wird durch Federdeformation (Druckfeder) erzeugt und kann durch die Wahl der Federkonstanten bestimmt werden. Ein Hebel mit Gelenk stellt das kinematische System dar. Bauteile mit größerem Durchmesser werden aufgrund der stärker zusammengedrückten Feder stärker gespannt. Die Spannkraft wird in der Nähe der Bauteilauflage und senkrecht zu dieser eingeleitet. Die Vorrichtung kann zum größten Teil additiv mit Kunststoff gefertigt werden. Das V-Prisma aus Kunststoff schützt die Flächen des zu spannenden Bauteils.

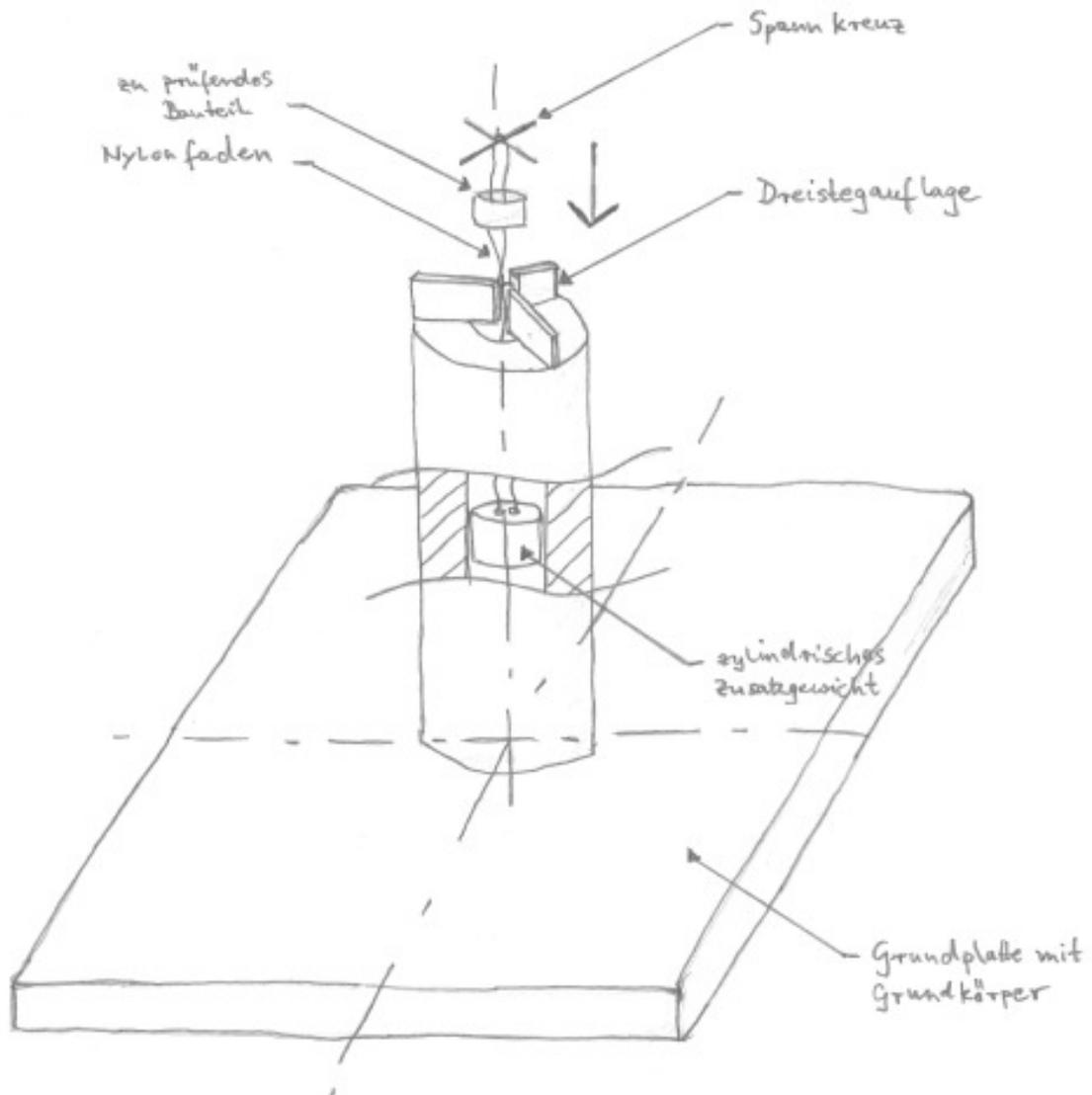


Abbildung 23: Prinzipskizze LV 3. Die Vorrichtungsbaulemente sind auf einer Grundplatte angeordnet. Die Spannkraft wird durch ein Zusatzgewicht in Zylinderform erzeugt. Die Spannkraft kann durch das Gewicht des Zylinders bestimmt werden und gerade so groß gewählt werden, wie für eine stabile Fixierung des zu prüfenden Bauteils nötig ist. Ein Nylonfaden verbindet das Zusatzgewicht und das Spannkreuz, welches das Bauteil auf einer Dreistegauflage fixiert. Der Nylonfaden wird, bedingt durch die Geometrie des Spannkreuzes, zentriert. Die Spannkraft wird nah an der Bauteilauflage und senkrecht zu dieser eingeleitet. Die Vorrichtung kann zum größten Teil additiv mit Kunststoff gefertigt werden. Das Zusatzgewicht sollte aus einem Material höherer Dichte, wie beispielsweise Stahl sein. Die Stege und das Spannkreuz aus Kunststoff schonen die Flächen des zu spannenden Bauteils.

#### 4.2.4 Bewertung der Lösungsvarianten

Zur Bewertung der ausgewählten Lösungsvarianten werden auf Grundlage der Anforderungsliste, Bewertungskriterien formuliert und gewichtet. Nachdem die ausgewählten Lösungsvarianten alle Festforderungen erfüllen, werden Wünsche zu Bewertungskriterien. Aus

Maximal- und Minimalforderungen lassen sich ebenfalls Wünsche ableiten. Eine positive Formulierung der Bewertungskriterien trägt zu einer einheitlichen Bewertungsrichtung bei. Das Ergebnis ist in Tabelle 11 zusammengetragen.

**Tabelle 11: Bewertungskriterien für die Bewertung der LV 1 - 3. Die positive Formulierung der Bewertungskriterien trägt zu einer einheitlichen Bewertungsrichtung bei.**

<b>Nr.</b>	<b>Bewertungskriterien</b>
1	Geringe Anzahl an Vorrichtungsbauerelementen
2	Schneller Spannvorgang
3	Einfaches Spannprinzip
4	Additives Fertigungsverfahren möglich
5	Wartungsarme Ausführung
6	Geringe Kosten
7	Leichte Montage
8	Kompakte Bauweise
9	Geringes Eigengewicht
10	Hohe Lebensdauer
11	Geringer Energieaufwand
12	Hohe Tasterzugänglichkeit
13	Rückstandsloses Spannen

Im nächsten Schritt werden die formulierten Bewertungskriterien dem Rangfolgeverfahren unterzogen, um aus einem paarweisen Vergleich der Kriterien untereinander, eine Gewichtung und die Rangfolge festzulegen (Tabelle 12).

Tabelle 12: Rangfolgeverfahren für die Bestimmung der Rangfolge der Bewertungskriterien.

Rangfolgeverfahren														
Bewertungskriterien														
Im Vergleich zu Bewertungskriterium	Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	1	-	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
	2	0	-	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
	3	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	4	1	1	1	-	1	0	0	1	1	1	1	1	1
	5	1	1	1	0	-	0	0	0	0	0	0	1	0
	6	1	1	1	1	1	-	0	1	1	1	1	1	1
	7	1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1	1
	8	0	0	1	0	1	0	0	-	0	0	0	1	0
	9	1	1	1	0	1	0	0	1	-	1	1	1	1
	10	1	1	1	0	1	0	0	1	0	-	0	1	1
	11	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	-	1	1
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
	13	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	-

<b>Summe</b>	7	8	10	2	7	1	0	8	3	5	4	11	6	$\Sigma$ 72
<b>Gewichtung</b>	0,097	0,111	0,139	0,028	0,097	0,014	0,000	0,111	0,042	0,069	0,056	0,153	0,083	$\Sigma$ 1,000
<b>Rang</b>	4	3	2	9	5	10	10	3	8	6	7	1	5	

Legende: 1 = besser; 0 = nicht besser

Die Rangfolge der Bewertungskriterien ist in Tabelle 13 aufgeführt. Das Kriterium *Hohe Tasterzugänglichkeit* belegt den ersten Rang. Einige Bewertungskriterien wie beispielsweise *Schneller Spannvorgang* und *Kompakte Bauweise* teilen sich einen Rang. Die ermittelte Rangfolge, deckt sich mit der Priorisierung der Wünsche in der Anforderungsliste, zu Anfang der Konstruktionsaufgabe.

**Tabelle 13: Rangfolge der Bewertungskriterien. Das Kriterium *Hohe Tasterzugänglichkeit* belegt den ersten Rang. Einige Bewertungskriterien wie beispielweise *Schneller Spannvorgang* und *Kompakte Bauweise* teilen sich einen Rang.**

Rangfolge der Bewertungskriterien	
1	Hohe Tasterzugänglichkeit
2	Einfaches Spannprinzip
3	Schneller Spannvorgang
	Kompakte Bauweise
4	Geringe Anzahl an Vorrichtungsbauerelementen
5	Wartungsarme Ausführung
	Rückstandsloses Spannen
6	Hohe Lebensdauer
7	Geringer Energieaufwand
8	Geringes Eigengewicht
9	Additives Fertigungsverfahren möglich
10	Leichte Montage
	Geringe Kosten

Die ermittelte Gewichtung der festgelegten Bewertungskriterien wird für die endgültige Bewertung der Lösungsvarianten genutzt. Das Bewertungsverfahren ist in Tabelle 14 dargestellt.

**Tabelle 14: Bewertungsverfahren für die LV 1 - 3. Die Bewertungskriterien erweisen bei allen Lösungsvarianten einen hohen Erfüllungsgrad. Deutliche Unterschiede bei der Bewertung zwischen den LV 1 - 3 gibt es bei dem Kriterium *Hohe Tasterzugänglichkeit*.**

Bewertungsverfahren							
Bewertungskriterien	Gewichtung	LV1		LV2		LV3	
		Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet
Geringe Anzahl an Vorrichtungsbauerelementen	0,097	4	0,389	3	0,292	3	0,292
Schneller Spannvorgang	0,111	4	0,444	4	0,444	3	0,333
Einfaches Spannprinzip	0,139	3	0,417	3	0,417	2	0,278
Additives Fertigungsverfahren möglich	0,028	3	0,083	3	0,083	3	0,083
Wartungsarme Ausführung	0,097	3	0,292	3	0,292	3	0,292
Geringe Kosten	0,014	3	0,042	3	0,042	3	0,042
Leichte Montage	0,000	4	0,000	3	0,000	4	0,000
Kompakte Bauweise	0,111	3	0,333	4	0,444	4	0,444
Geringes Eigengewicht	0,042	3	0,125	3	0,125	3	0,125
Hohe Lebensdauer	0,069	3	0,208	3	0,208	3	0,208
Geringer Energieaufwand	0,056	4	0,222	3	0,167	4	0,222
Hohe Tasterzugänglichkeit	0,153	1	0,153	2	0,306	4	0,611
Rückstandsloses Spannen	0,083	4	0,333	4	0,333	4	0,333
<b>Summe der Punkte</b>			3,042		3,153		3,264
<b>Rang</b>			3		2		1
<b>Wertigkeit der Gesamtlösung</b>			0,760		0,788		0,816

**Punkte: 0 = unbefriedigend; 1 = gerade noch tragbar; 2 = ausreichend; 3 = gut; 4 = sehr gut (ideal)**

Das Bewertungsverfahren ergibt, dass die LV 3 mit einer Wertigkeit von 0,816 die Geeignenste für die Problemstellung ist. Diese wird als endgültiges Konzept übernommen und in der nachfolgenden Phase des Entwerfens detailliert.

### 4.3 Entwurf

Das folgende Kapitel dient der gestalterischen Festlegung. Das endgültige Konzept wird als CAD-Modell umgesetzt.

### 4.3.1 Berechnungen

In diesem Kapitel wird die benötigte Spannkraft für das endgültige Konzept errechnet. Diese ergibt sich aus den wirkenden Prozesskräften wie der Antastkraft, denen die Spannung standhalten muss.

Im Zuge der Detaillierung und Auseinandersetzung mit der Idee hat sich eine Änderung bezüglich der Ausführung des Spannkreuzes ergeben. Diese hat im Vergleich zur Prinzipskizze (vgl. Kapitel 4.2.3) nur noch drei Arme und sollte bei einem Spannvorgang wie in Abbildung 24 dargestellt, mit den Armen versetzt zur Dreistegauflage platziert werden. Bei einer Antastung des KMG in vertikaler Richtung an die obere oder untere Stirnseite des zu prüfenden Bauteils, kann somit kein ungünstiges Kippmoment entstehen. Voraussetzung ist, dass die Spannkraft in jedem Arm ausreichend ist. Das wird im folgenden Abschnitt untersucht.

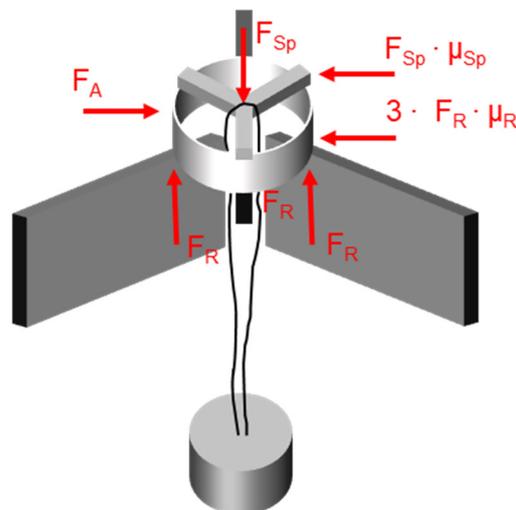


Abbildung 24: Wirkende Kräfte Dreistegauflage bei horizontaler Antastung. Das Spannkreuz wird mit den Armen versetzt zur Dreistegauflage positioniert.

$F_{Sp}$	Spannkraft	[N]
$F_A$	Antastkraft	[N]
$F_R$	Reaktionskraft	[N]
$\mu_{Sp}$	Reibungszahl Spannkreuz - Prüfteil	[-]

$\mu_R$	Reibungszahl Prüfteil - Steg	[-]
$m_{Sp}$	Masse des Zusatzgewichtes in Zylinderform	[kg]
$g$	Gravitationskonstante	$\frac{m}{s^2}$
$\rho$	Dichte von Stahl	kg

Nach Abbildung 24 und Aufstellung eines Kräftegleichgewichts ergibt sich die Formel für die Spannkraft bei Antastung in horizontaler Richtung:

$$\uparrow \sum F = 0 \quad (1)$$

$$F_{Sp} = 3 \cdot F_R \quad (2)$$

$$\rightarrow \sum F = 0 \quad (3)$$

$$F_A = F_{Sp} \cdot \mu_{Sp} + 3 \cdot F_R \cdot \mu_R \quad (4)$$

$$F_A = F_{Sp} \cdot \mu_{Sp} + F_{Sp} \cdot \mu_R \quad (5)$$

$$F_A = F_{Sp} \cdot (\mu_{Sp} + \mu_R) \quad (6)$$

$$F_{Sp} = \frac{F_A}{\mu_{Sp} + \mu_R} \quad (7)$$

Da das Spannkreuz und Stege aus Kunststoff sein sollen, ergibt sich nach [13]:

$$\mu_{Sp} = \mu_R = \mu = 0,3 \quad (8)$$

Die mindestens notwendige Formel für die Spannkraft wird bestimmt durch Einsetzen der Reibungszahl  $\mu$ :

$$F_{Sp} \geq \frac{F_A}{2 \cdot \mu} = \frac{0,1 \text{ N}}{2 \cdot 0,3} \approx 0,17 \text{ N} \quad (9)$$

Aufgrund einer möglichen vertikalen Antastung wird die Spannkraft grob doppelt so groß angenommen, so dass jeder Arm stärker spannt als die maximal mögliche Antastkraft von 0,1 N. Aus der Spannkraft lässt sich die Masse des Zusatzgewichtes wie folgt berechnen:

$$F_{Sp} = m_{Sp} \cdot g \quad (10)$$

$$m_{Sp} = \frac{F_{Sp}}{g} = \frac{0,35 \text{ N}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \approx 0,0357 \text{ kg} = 35,7 \text{ gr} \quad (11)$$

Mit den errechneten Werte wird die Formel zur Bestimmung der Höhe eines Zylinders gelöst. Der Durchmesser des Zylinders soll nur 10 mm betragen, da die Stege sonst wenig Stützstruktur haben.

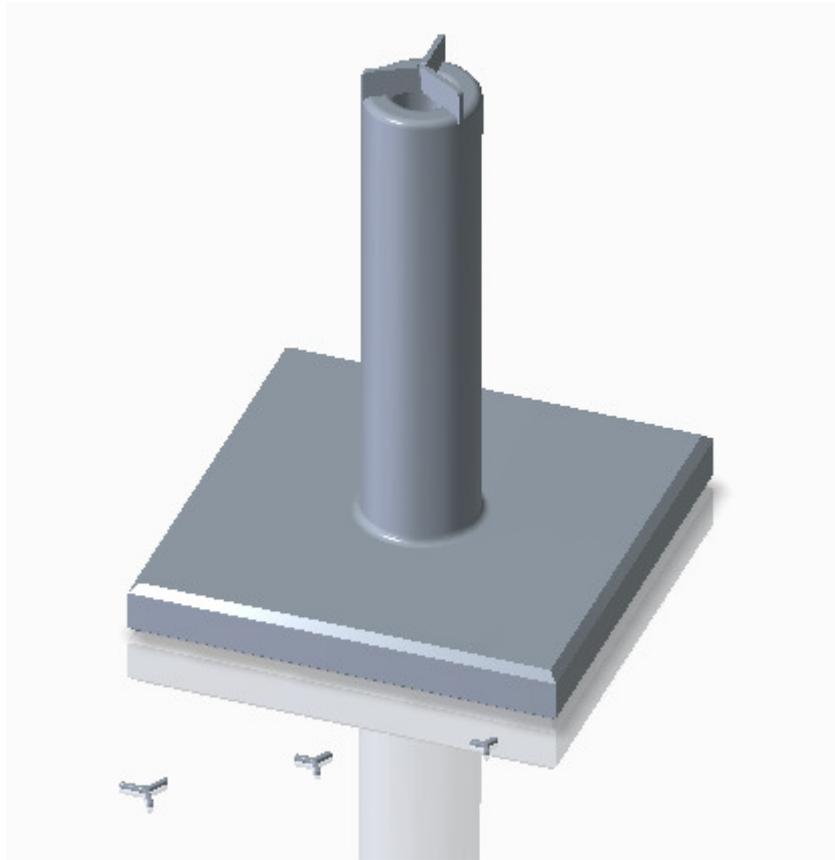
$$m_{Sp} = \rho \cdot V = \rho \cdot \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{4} \quad (12)$$

$$h = \frac{4 \cdot m_{Sp}}{\pi \cdot \rho \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0,0357 \text{ kg}}{\pi \cdot 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,01^2 \text{ m}^2} \approx 0,058 \text{ m} = 58 \text{ mm} \quad (13)$$

Demnach ergibt sich gerundet ein Zusatzgewicht in Zylinderform aus Stahl mit den Abmessungen Durchmesser x Höhe (10 x 60) mm. Aufgrund der niedrigen Spannkraft von 0,35 N werden keine weiteren Berechnungen, wie beispielsweise Festigkeitsuntersuchungen, angestellt.

#### 4.3.2 Modellierung

Zur Erstellung des 3D-Modells wurde das CAD-Programm *PTC Creo Parametric 3.0* verwendet. Das Ergebnis der Modellierung ist in Abbildung 25 dargestellt.



**Abbildung 25: CAD-Modell der entworfenen Fixierung. Die Grundplatte mit Grundkörper trägt die Dreistegaufgabe. Ausgewählte Spannkreuze sind im Vordergrund positioniert.**

### **Weitere Hinweise**

Eine Flexibilität der Spannkreuze, im Hinblick auf die verschiedenen Durchmesser der zu prüfenden Bauteile, ist nicht gegeben. Dieser Umstand wird durch mehrere Spannkreuze kompensiert, die in ihren Abmessungen abgestuft sind.

Das Zusatzgewicht wird in die Bohrung des Grundkörpers geführt und ist mit dem Nylonfaden verbunden. Der Nylonfaden ist in der Nähe des Zusatzgewichtes zu verknoten, so dass der Spannvorgang auf den Stegen nicht beeinträchtigt werden kann.



**Abbildung 26: Verbindung Zusatzgewicht Nylonfaden. Der Nylonfaden wird in der Nähe der Verbindung verknotet, so dass der Spannvorgang durch diese nicht beeinträchtigt werden kann.**

Die Verbindung des Nylonfadens zum dreiarmligen Spannkreuz ist nicht ideal, da es den Faden nicht optimal zentriert. Eine Möglichkeit dem entgegenzuwirken wird in der Abbildung 27 dargestellt.



**Abbildung 27: Verbindung Nylonfaden Spannkreuz. Das Spannkreuz mit drei Armen zentriert den Nylonfaden nicht optimal.**

Letztendlich sollte bei der additiven Fertigung der Dreistegaufgabe darauf geachtet werden, farblich unterscheidbare Markierungen auf den Stegen der Bauteilauflage einzubringen. Diese können dem Bediener in der Praxis bei der groben Positionierung des zu spannenden Bauteils unterstützen.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Konzept für eine Spannvorrichtung als Fixierungsmöglichkeit zur Prüfung von dünnwandigen Drehteilen mit Abmessungen bis in den Bereich weniger Millimeter auf einem KMG methodisch entwickelt.

In Kapitel 2 wurden zunächst die relevanten Themenbereiche, auf denen die Idee der Arbeit aufbaut, ausführlich beschrieben.

In dem nachfolgenden Kapitel 3 wird aufgezeigt, welche Lösungsansätze es bereits für die in der Einleitung geschilderte Problematik am Markt gibt. Letztendlich ließen sich durch die Beleuchtung der Thematik, für die vorliegende Arbeit wesentliche Anforderungen ableiten.

Das zentrale Kapitel 4 beschreibt den Weg der Lösungsfindung, die nach dem Prinzip des methodischen Konstruierens erfolgt.

Zuerst wurden alle Informationen, die für die Bearbeitung der Aufgabe relevant sind, zusammengetragen. Nach der Informationsbeschaffung wurden Anforderungen an die Spannvorrichtung in einer Anforderungsliste formuliert. Die Anforderungen wurden als Festforderungen und priorisierte Wünsche aufgelistet.

Durch die nachfolgende Abstraktion der Problemstellung konnte die Gesamtfunktion einer Spannvorrichtung ebenfalls abstrahiert formuliert werden, um so das eigentliche Problem von außen zu betrachten. Mithilfe der Durchführung einer Funktionsanalyse wurde die abstrahierte Gesamtfunktion in Teilfunktionen zerlegt. Zu den ermittelten Teilfunktionen konnte mithilfe des morphologischen Kastens ein breites Feld von Teillösungen gefunden werden. Durch die Kombination verträglicher Teillösungen konnten drei Lösungsvarianten erarbeitet werden. Für die Bewertung der Lösungsvarianten wurden positiv formulierte Bewertungskriterien mit unterschiedlicher Gewichtung aus den Wünschen der Anforderungsliste abgeleitet. Die am besten bewertete Lösungsvariante wurde als endgültiges Konzept festgelegt und diente in der nachfolgenden Phase des Entwerfens als Grundlage.

In dem Kapitel *Entwurf* wurde das endgültige Konzept detailliert. In diesem Rahmen wurde die benötigte Spannkraft errechnet, um das Material und die nötigen Abmessungen des Zusatzgewichtes in Zylinderform zu bestimmen.

Nach dem Prinzip des Konstruierens von „innen“ nach „außen“ entstand durch Verwendung eines CAD-Programms ein 3D-Modell des endgültigen Konzeptes.

Als Ergebnis der Arbeit liegt der Entwurf einer Spannvorrichtung vor, welcher in der Theorie alle Anforderungen der Anforderungsliste erfüllt. Außerdem weisen alle Wünsche einen hohen Erfüllungsgrad auf. Für eine endgültige Bewertung des Entwurfs, muss die Einsetzbarkeit und Funktionalität in einem Praxistest bestätigt werden.

Die Stärke des Entwurfs liegt darin, dass die Vorrichtungsbaulemente so wenig Fläche am zu spannenden Bauteil bedecken, wie nur möglich. Das ermöglicht eine hohe Zugänglichkeit des Tasterelementes. Begünstigt wird dieser Umstand durch eine kompakte und einfache Bauweise mit nur wenigen Vorrichtungsbaulementen.

Eine Schwäche des Entwurfs ist, dass nur die im Rahmen der Informationsbeschaffung festgelegte Gruppe von Bauteilen spannbar ist. Andere Bauteile können sich in ihrer Form, Masse und Größe unterscheiden und erfordern andere Spannlösungen.

Weiterhin ist die Vorrichtung auf eine bestimmte maximale Antastkraft ausgelegt. Die Einsetzbarkeit auf einem KMG das höhere Antastkräfte aufbringt, ist beispielsweise nicht gegeben.

Ein weiterer Schwachpunkt ist das Spannkreuz, welches als Spannelement, im Vergleich zu einer Zug- oder Druckbeanspruchung, ungünstig auf Biegung beansprucht wird und zudem nicht flexibel an die verschiedenen Durchmesser der zu spannenden Bauteile anpassbar ist. Diese fehlende Flexibilität wird kompensiert durch die Ausführung des Spannkreuzes in mehreren Varianten mit abgestuften Abmessungen.

Der Nylonfaden als Übertragelement der Spannkraft muss zusammengeknotet werden, was ein Risiko für die optimale Funktionsweise darstellt.

Letztendlich sind die gewählten Reibungszahlen theoretische Werte. Diese unterliegen in der Realität großen Schwankungen. Zur Einflussminderung einer fälschlicherweise zu hohen Reibungszahl, wurde aus der Literatur der jeweils geringere Wert gewählt. Auf der anderen Seite kann durch eine Erhöhung der Oberflächenrauheit der Stege und des Spannkreuzes, die jeweilige Reibungszahl erhöht werden. Das stellt einen guten Ansatzpunkt für mögliche Optimierungen in der Zukunft dar.

## Literatur

- [1] VDI 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf: VDI-Verlag 1993.
- [2] Pahl, J.; Beitz, W.; Feldhusen, J. et al.: Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg 2013.
- [3] Prof Dr.-Ing. Kopenhagen, F.: Methodisches Konstruieren. Skript zur Vorlesung. Hamburg.
- [4] Netz Konstrukteur. Internetadresse: <http://netzkonstrukteur.de/wp-content/uploads/2013/04/Anforderungsliste.pdf>. Zuletzt aufgerufen am 31.03.2018.
- [5] Fleischer, B.; Theumert, H.: Entwickeln Konstruieren Berechnen. Komplexe praxisnahe Beispiele mit Lösungsvarianten. Wiesbaden: Springer Vieweg 2016.
- [6] Keferstein, C. P.; Marxer, M.: Fertigungsmesstechnik. Praxisorientierte Grundlagen, moderne Messverfahren. Wiesbaden: Springer Vieweg 2015.
- [7] Eigene Erstellung, Olympus Surgical Technologies Europe, 2018.
- [8] Hesse, S.; Krahn, H.; Eh, D.: Betriebsmittel Vorrichtung. Grundlagen und kommentierte Beispiele. München: Carl Hanser Verlag 2012.
- [9] VDI 2232: Methodische Auswahl fester Verbindungen Systematik, Konstruktionskataloge, Arbeitshilfen. Düsseldorf: VDI-Verlag 2004.
- [10] © 2018 Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH. Internetadresse: [https://applications.zeiss.com/C1257A26006EFF9E/0/7BF1E028F25E7F3BC12581A7002B5E48/\\$FILE/ZEISS\\_CARFIT\\_Katalog\\_Baukastensysteme\\_2016\\_DE\\_68\\_070\\_00061.pdf](https://applications.zeiss.com/C1257A26006EFF9E/0/7BF1E028F25E7F3BC12581A7002B5E48/$FILE/ZEISS_CARFIT_Katalog_Baukastensysteme_2016_DE_68_070_00061.pdf). Zuletzt aufgerufen am 05.04.2018.
- [11] © 2018 dk Fixiersysteme GbmH & Co. KG. Internetadresse: [http://www.dk-fixiersysteme.de/wp-content/uploads/2016/04/165\\_14\\_004\\_Katalog\\_DE\\_RZ3-Web.pdf](http://www.dk-fixiersysteme.de/wp-content/uploads/2016/04/165_14_004_Katalog_DE_RZ3-Web.pdf). Zuletzt aufgerufen am 05.04.2018.
- [12] © Matrix GmbH Stuttgart. Internetadresse: <http://www.matrix-innovations.com/de/Produktwelt/BLUE-CLAMP/X-GRIP-XS-LIGHT/>. Zuletzt aufgerufen am 06.04.2018.
- [13] Gomeringer, R.; Heinzler, M.; Kilgus, R. et al.: Tabellenbuch Metall. Haan-Gruiten: Verlag Europa Lehrmittel - Nourney Vollmer GmbH & Co. KG 2017.



## Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

### Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: \_\_\_\_\_

Vorname: \_\_\_\_\_

dass ich die vorliegende \_\_\_\_\_ – bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

*- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -*

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der \_\_\_\_\_ ist erfolgt durch:

\_\_\_\_\_  
Ort

\_\_\_\_\_  
Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift im Original