



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Carsten Lienhop

Entwicklung eines Unterrichtsmodells einer Reibscheibenkupplung für die Sachverständigenausbildung

*Fakultät Technik und Informatik
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Automotive and
Aeronautical Engineering*

Carsten Lienhop

**Entwicklung eines Unterrichtsmodells
einer Reibscheibenkupplung für die
Sachverständigenausbildung**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Fahrzeugbau
am Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

in Zusammenarbeit mit:
TÜV NORD Mobilität GmbH & Co.KG
MTAW
Am TÜV 1
30519 Hannover

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Eckart Nast
Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Norbert Stanislawski
Industrieller Betreuer: Dipl.-Ing. Norbert Stanislawski

Abgabedatum: 11.04.2017

Zusammenfassung

Name des Studierenden

Carsten Lienhop

Thema der Bachelorthesis

Entwicklung eines Unterrichtsmodells einer Reibscheibenkupplung für die Sachverständigenausbildung.

Stichworte

Reibscheibenkupplung, Schulungsmodell, Funktionsbeschreibung, Konstruktion, Morphologischer Kasten, Rechercharbeit, Sachverständigenausbildung

Kurzzusammenfassung

Diese Arbeit umfasst den Bau eines Schulungsmodells einer Reibscheibenkupplung für die Sachverständigenausbildung. Zu Beginn der Ausarbeitung wird recherchiert, welche gängigen Anfahrkupplungssysteme in den Bereichen Krafträder, Personenkraftwagen und Lastkraftwagen am Markt erhältlich sind und ihre Funktionsweise sowie ihre Vor- und Nachteile werden aufgeführt. Als Grundlage für das Modell dient eine am Markt erhältliche Kupplung, die mittels eines Morphologischen Kastens ausgewählt wird. Die unterschiedlichen Anforderungen, die das Modell erfüllen soll, sind in Form eines Lastenheftes niedergeschrieben. Fehlende Bauteile werden in Siemens NX selbst konstruiert oder als Zukaufteil beschafft. Um eine einfache Bedienung zu gewährleisten, wird zusätzlich eine Funktionsbeschreibung durchgeführt und eine Kurzanleitung formuliert. Als letzter Schritt der Arbeit wird das Modell zusammengebaut und ein Ausblick auf eventuelle Erweiterungen oder Verbesserungen gegeben.

Name of Student

Carsten Lienhop

Title of the paper

Development of a teaching model of a friction disc clutch for expert training.

Keywords

Friction disc clutch, training model, functional description, construction, morphological box, research work, expert training

Abstract

This paper involves the construction of a training model of a friction disc clutch for expert training. Initially, an enquiry is made of common starting clutch systems that are currently available on the market of motorcycles, passenger cars and trucks, additionally, their functionality as well as their advantages and disadvantages are identified. The basis for the model is a coupling available on the market which is selected by means of a morphological box. The different requirements that the model is intended to fulfill are described as a technical specification. Missing components are designed in Siemens NX or bought as purchased part. In order to facilitate operation, a function description is carried out and an additional short instruction is introduced. Finally, the model is assembled and proposals are given on possible/potential extensions or improvements.

Danksagung

Ich möchte mich bei allen Menschen, die mir während dieser Arbeit mit Rat und Tat zur Seite gestanden haben, bedanken. Es war mir eine große Freude, diese Hausarbeit in Kooperation mit der TÜV NORD Mobilität GmbH & Co.KG erstellen zu dürfen.

Herrn Professor Nast und Herrn Dipl.-Ing. Stanislawski möchte ich auf diesem Wege herzlich danken, dass Sie die Betreuung und Prüfung meiner Bachelorthesis übernommen haben. Sie haben mir sowohl durch die Klärung von Fachfragen als auch durch ihre konstruktive Kritik immer mit Rat und Tat zur Seite gestanden.

Des Weiteren danke ich jenen, die mir in einer Vielzahl von Gesprächen geholfen haben, stets neue Ideen und Sichtweisen auf Problematiken zu erlangen. Hervorzuheben sind hierbei Jürgen Tietjen und Axel Tramm.

Der Team Wahlers GmbH möchte ich für die kostenlose Bereitstellung der Kupplung sowie Beratung bei Fachfragen herzlich danken.

Ein weiterer Dank gilt der Firma Mey & Andres GmbH für die kostengünstige Fertigung von Frästeilen für das Schulungsmodell.

Ein besonderer Dank gilt auch meinen Schwestern Kristina und Sonja Lienhop, meiner Lebensgefährtin Verena Tietjen sowie Sandra Holsten, die in unzähligen Stunden diese Hausarbeit Korrektur gelesen und mir als Fachfremde Schwächen bei der Erklärung von Fachausdrücken aufgezeigt haben.

Abschließend möchte ich mich von Herzen bei meiner Familie und meiner Lebensgefährtin bedanken. Sie haben mich während meines gesamten Studiums stets motiviert und unterstützt.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Abbildungsverzeichnis | 8 |
| Tabellenverzeichnis | 10 |
| Abkürzungsverzeichnis | 11 |
| 1 Einleitung | 12 |
| 1.1 Unternehmensvorstellung..... | 12 |
| 2 Aufgabenstellung | 13 |
| 2.1 Begründung der Aufgabenstellung | 13 |
| 2.2 Beschreibung der Aufgabenstellung..... | 13 |
| 3 Grundlagen und Funktionsanalyse der Reibscheibenkupplung | 15 |
| 3.1 Bauformen der Kupplungen..... | 15 |
| 3.2 Aufgaben der Reibscheibenkupplung | 15 |
| 3.3 Besonderheiten der reibschlüssigen Kupplungen..... | 16 |
| 4 Recherche der am Markt erhältlichen Anfahrkupplungssysteme | 17 |
| 4.1 Einscheiben-Tellerfederkupplung | 18 |
| 4.1.1 Die Funktionsweise der Tellerfederkupplung..... | 19 |
| 4.1.2 Besonderheiten der Tellerfederkupplung..... | 20 |
| 4.1.3 Die Tellerfeder | 21 |
| 4.1.4 Der Torsionsdämpfer | 23 |
| 4.1.5 Vor- und Nachteile der Tellerfederkupplung | 25 |
| 4.2 Zweiseibenkupplung | 26 |
| 4.2.1 Die Funktionsweise der Zweiseibenkupplung | 26 |
| 4.2.2 Besonderheiten der Zweiseibenkupplung | 27 |
| 4.2.3 Mathematischer Vergleich Ein- und Zweiseibenkupplung..... | 28 |
| 4.2.4 Vor- und Nachteile der Zweiseibenkupplung | 28 |
| 4.3 Doppelkupplung..... | 29 |
| 4.3.1 Funktionsweise der Doppelkupplung..... | 30 |
| 4.3.2 Besonderheiten der Doppelkupplung..... | 33 |
| 4.3.3 Vor- und Nachteile der Doppelkupplung | 33 |
| 4.4 Lamellenkupplung..... | 34 |
| 4.4.1 Aufbau und Funktionsweise der Lamellenkupplung | 34 |
| 4.4.2 Besonderheiten der Lamellenkupplung | 36 |
| 4.4.3 Vor- und Nachteile der Lamellenkupplung..... | 36 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4.5 | Magnetpulverkupplung | 37 |
| 4.5.1 | Aufbau und Funktionsweise der Magnetpulverkupplung | 37 |
| 4.5.2 | Besonderheiten der Magnetpulverkupplung | 39 |
| 4.5.3 | Vor- und Nachteile der Magnetpulverkupplung..... | 40 |
| 4.6 | Hydrodynamische Kupplung | 41 |
| 4.6.1 | Aufbau und Funktionsweise der Hydrodynamischen Kupplung | 42 |
| 4.6.2 | Besonderheiten der Hydrodynamischen Kupplung..... | 46 |
| 4.6.3 | Vor- und Nachteile der Hydrodynamischen Kupplung | 47 |
| 5 | Aufbereitung einer am Markt erhältlichen Reibscheibenkupplung als Schulungsmodell..... | 48 |
| 5.1 | Das Lastenheft | 48 |
| 5.2 | Analytischer Hierarchieprozess und Entscheidungsmatrix | 49 |
| 5.3 | Planung der Abläufe für den Bau des Schulungsmodells | 52 |
| 5.3.1 | Der Morphologische Kasten | 53 |
| 5.3.2 | Analytischer Hierarchieprozess zum Morphologischen Kasten | 54 |
| 5.3.3 | Die Entscheidungsmatrix zum Morphologischen Kasten | 55 |
| 5.3.4 | Dokumentation der fehlenden Bauteile und Planung der Arbeitsabläufe..... | 57 |
| 5.3.5 | Auswahl der Druckfedern | 60 |
| 5.4 | Konstruktion der fehlenden Bauteile in Siemens NX | 62 |
| 5.4.1 | Anforderungen an die Lagerböcke für die Wellenaufnahme | 62 |
| 5.4.2 | Konstruktion des Schwungrades | 63 |
| 5.4.3 | Konstruktion des Lagerbocks für die Betätigung | 63 |
| 5.4.4 | Konstruktion der Adapterplatte | 64 |
| 5.4.5 | Konstruktion der Grundplatte | 64 |
| 5.5 | Der Zusammenbau des Schulungsmodells | 65 |
| 5.6 | Verwendung des Schulungsmodells in der Praxis | 68 |
| 6 | Fazit | 70 |
| 6.1 | Zusammenfassung | 70 |
| 6.2 | Ausblick | 71 |
| | Literaturverzeichnis | 72 |
| | Anhang A: Tellerfedern und Torsionsdämpfern der Firma LuK | 74 |
| | Anhang B: Konzeptskizzen | 77 |
| | Anhang C: Datenblätter der Federn der Firma Gutekunst..... | 79 |
| | Anhang D: Technische Zeichnungen und Stückliste..... | 81 |

| | |
|--|-----------|
| Anhang E: Kurze Gebrauchsanweisung und Erläuterung des Kraftflusses ... | 90 |
| Versicherung über die Selbständigkeit | 92 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 4-1: Tellerfederkupplung..... | 18 |
| Abbildung 4-2: Schaltzustände der Tellerfederkupplung | 19 |
| Abbildung 4-3: Kupplungsdruckplatte mit Tellerfeder in Standardausführung | 22 |
| Abbildung 4-4: Kupplungsscheibe mit 2-stufigem Torsionsdämpfer | 24 |
| Abbildung 4-5: Grafik einer..... | 26 |
| Abbildung 4-6: Schnitt durch eine Zweischeibenkupplung | 26 |
| Abbildung 4-7: Doppelkupplung mit Direktschaltgetriebe | 29 |
| Abbildung 4-8: Aufbau einer trockenen Doppelkupplung | 30 |
| Abbildung 4-9: Aufbau einer nassen Doppelkupplung..... | 31 |
| Abbildung 4-10: Die trockene Lamellenkupplung | 35 |
| Abbildung 4-11: Einzelteile Ansicht einer Lamellenkupplung | 35 |
| Abbildung 4-12: Vereinfachte Darstellung eines CVT – Getriebes | 37 |
| Abbildung 4-13: Aufbau einer Magnetspulverkupplung..... | 38 |
| Abbildung 4-14: Schnitt durch einen Drehmomentwandler | 41 |
| Abbildung 4-15: Aufbau eines Hydrodynamischen Drehmomentwandlers..... | 42 |
| Abbildung 4-16: Beispielhafte Kennlinie eines Drehmomentwandlers..... | 44 |
| Abbildung 4-17: Drehmomentwandler mit geöffneter Überbrückungskupplung | 45 |
| Abbildung 4-18: Drehmomentwandler mit geschlossener Überbrückungskupplung.. | 45 |
| Abbildung 5-1: Grundgerüst für das Schulungsmodell | 52 |
| Abbildung 5-2: Skizze des Konzeptes 1 | 56 |
| Abbildung 5-3: Bestandteile des Grundmodells..... | 57 |
| Abbildung 5-4: Fertiges Schulungsmodell | 66 |
| Abbildung 5-5: Kupplung geschlossen | 68 |
| Abbildung 5-6:Detailansicht Eingekuppelter Zustand | 68 |
| Abbildung 5-7: Schulungsmodell ausgekuppelt..... | 69 |
| Abbildung A-1: Tellerfedern der Firma LuK Teil 1 | 74 |
| Abbildung A-2: Tellerfedern der Firma Luk Teil 2 | 75 |
| Abbildung A-3: Torsionsdämpfer der Firma LuK | 76 |
| Abbildung B-1: Skizze Konzept 1 | 77 |
| Abbildung B-2: Skizze Konzept 2 | 77 |
| Abbildung B-3: Skizze Konzept 3 | 78 |
| Abbildung B-4: Skizze Konzept 4 | 78 |
| Abbildung C-1: Feder VD-180Y-01 (5,6 mm) Spannweg | 79 |

| | |
|---|----|
| Abbildung C-2: Feder D-145DG (5 mm) Spannweg | 80 |
| Abbildung D-1: Grundplatte | 81 |
| Abbildung D-2: Lagerbock Schwungradseitig | 82 |
| Abbildung D-3: Lagerbock Betätigungsseitig | 83 |
| Abbildung D-4: Lagerbock Betätigung | 84 |
| Abbildung D-5: Adapterplatte | 85 |
| Abbildung D-6: Schwungrad ohne Hülse | 86 |
| Abbildung D-7: Hülse für das Schwungrad | 87 |
| Abbildung D-8: Bezifferung zur Stückliste 1 | 88 |
| Abbildung D-9: Bezifferung zur Stückliste 2 | 88 |
| Abbildung E-1: Das Schulungsmodell | 90 |
| Abbildung E-2: Detailansicht Schwungrad | 91 |
| Abbildung E-3: Detailansicht Kupplungskorb | 91 |
| Abbildung E-4: Reiblamelle | 91 |
| Abbildung E-5: Detailansicht Druckeinrichtung | 91 |
| Abbildung E-6: Stahllamelle | 91 |
| Abbildung E-7: Nabe | 91 |
| Abbildung E-8: Getriebeeingangswelle | 91 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 4-1: Vor- und Nachteile der Tellerfederkupplung | 25 |
| Tabelle 4-2: Rechenbeispiel Vergleich Ein – und Zweis Scheibenkupplung..... | 28 |
| Tabelle 4-3: Vor- und Nachteile der Zweis Scheibenkupplung | 28 |
| Tabelle 4-4: Vor- und Nachteile der Doppelkupplung | 33 |
| Tabelle 4-5: Vor- und Nachteile der Lamellenkupplung..... | 36 |
| Tabelle 4-6: Vor- und Nachteile der Magnetpulverkupplung | 40 |
| Tabelle 4-7: Vor- und Nachteile der Hydrodynamischen Kupplung | 47 |
| Tabelle 5-1: Analytischer Hierarchieprozess zur Auswahl der Kupplung | 50 |
| Tabelle 5-2: Entscheidungsmatrix zur Bestimmung der Kupplung | 51 |
| Tabelle 5-3: Morphologischer Kasten für die Ideenfindung | 53 |
| Tabelle 5-4: Analytischer Hierarchieprozess für die Modellentwicklung | 55 |
| Tabelle 5-5: Entscheidungsmatrix für die Modellentwicklung | 55 |
| Tabelle 5-6: Auflistung der fehlenden Komponenten..... | 58 |
| Tabelle 5-7: Berechnung des maximal übertragbaren Drehmoments | 67 |
| Tabelle D-1: Stückliste für das Modell | 89 |

Abkürzungsverzeichnis

| Abkürzung | Bedeutung |
|---------------|--|
| A | Fläche der Belagseite in cm^2 |
| cm | Zentimeter |
| CVT | Continuously Variable Transmission |
| D | Außendurchmesser in cm |
| d | Innendurchmesser in cm |
| DÜV | Dampfkessel Überwachungsverein |
| F_K | Drehkraft (Umfangskraft) in N |
| F_N | Anpresskraft (gesamt) in N |
| F_R | Reibungskraft einer Belagseite |
| GmbH & Co. KG | Gesellschaft mit beschränkter Haftung & Compagnie Kommanditgesellschaft |
| LKW | Lastkraftwagen |
| N | Newton |
| Nm | Newtonmeter |
| n_p | Drehzahl des Pumpenrades |
| n_t | Drehzahl des Turbinenrades |
| p | Flächenpressung in N/cm^2 |
| PKW | Personenkraftwagen |
| r_m | mittlerer Drehkrafthalbmesser (Radius) in cm |
| TÜV | Technischer Überwachs-Verein |
| z | Anzahl der Kupplungsscheiben |
| μ_H | Haftreibungszahl |

1 Einleitung

1.1 Unternehmensvorstellung

Die TÜV NORD Group, mit ihrem Hauptsitz in Hannover, hat ihre Ursprünge im Jahre 1869 als Verein zur Überwachung von Dampfkesseln, kurz DÜV. Im Jahre 2015 waren 9861 Mitarbeiter im Unternehmen beschäftigt, die sich auf drei Kontinente (Europa, Asien und Amerika) verteilen. Die Unternehmensgruppe selbst besteht aus mehreren kleinen Tochterfirmen, die in den Bereichen Industrie-Service, Mobilität, Bildung, Rohstoffe, Aerospace und IT tätig sind. Die beiden umsatzstärksten Bereiche innerhalb des Unternehmens sind der Industrie-Service und der Mobilitätssektor. Eine der Kernkompetenzen im Bereich Mobilität liegt in der Prüfung von Fahrzeugen, auf deren ordnungsgemäßen Zustand nach den Vorschriften der Straßenverkehrszulassungsordnung. [17]

2 Aufgabenstellung

2.1 Begründung der Aufgabenstellung

Die Aus- und Fortbildung nimmt in der heutigen Zeit einen immer größeren Stellenwert ein. Nur gut geschulte Mitarbeiter können Kunden bei Fachfragen die richtigen Antworten geben und so wiederum dazu beitragen, den guten Ruf des Unternehmens aufrecht zu erhalten. Die Ausbildung zum Prüflingenieur bei der TÜV NORD Mobilität GmbH & Co.KG ist in zwei unterschiedliche Bereiche gegliedert. Es handelt sich hierbei um ein rechtliches sowie ein technisches Gebiet. Im Bereich der Technik werden den Auszubildenden häufig Modelle von Fahrzeugkomponenten zum Erklären und Zeigen vorgestellt. Dies dient dem Zweck, beispielsweise einem studierten Elektroingenieur, der mit der Materie des Kraftfahrzeuges während seines Studiums wenig zu tun hatte, die unterschiedlichen Fahrzeugkomponenten besser erklären zu können. Des Weiteren können den angehenden Prüflingenieuren anhand dieser Modelle häufig auftretende Beschädigungen besser dargestellt werden und Sie erhalten ein erstes Gefühl dafür, wie sich diese defekten Komponenten in der Praxis am Fahrzeug anfühlen.

2.2 Beschreibung der Aufgabenstellung

Hauptthematik dieser Bachelorarbeit ist die Entwicklung eines Schulungsmodells einer trockenen Reibscheibenkupplung. Zu diesem Zweck soll im Vorfeld recherchiert werden, welche gängigen Anfahrkupplungen im Bereich der PKW- und der LKW-Technik sowie der Kraftradtechnik auf dem Markt erhältlich sind. Des Weiteren soll die Funktion einer jeden Kupplung erklärt und die einzelnen Komponenten und deren Aufgaben anhand von Bildern benannt werden. Als Grundlage für das Modell soll eine ausgediente Kupplung vom Verwerter genutzt werden, die anhand eines analytischen Hierarchieprozesses in Verbindung mit einer Entscheidungsmatrix ausgewählt wird. Die fehlenden Komponenten zur Komplettierung des Vorführungsobjektes sollen entweder selbst konstruiert oder als Zukaufteile beschafft werden. Ziel dieser Ausarbeitung ist es, den angehenden Prüflingenieuren anhand dieses Modells, welches herumreichbar und mit Handkräften

zu betätigen sein soll, die Funktion einer trockenen Reibscheibenkupplung zu erklären und die Vorgänge des Ein- und Auskuppelns sichtbar zu machen.

3 Grundlagen und Funktionsanalyse der Reibscheibenkupplung

3.1 Bauformen der Kupplungen

Die Reibscheibenkupplung ist in die Kategorie der reibschlüssigen Kupplungen einzuordnen. Sie tritt in den verschiedensten Formen auf. Es gibt sie als Ein-, Zwei- und Mehrscheibenkupplung. Des Weiteren ist noch eine Doppelkupplung, die nach einem ähnlichen Prinzip funktioniert, am Markt erhältlich. Die Ein- und Zweischeiben sowie die Doppelkupplungsvariante sind meistens im PKW- Antriebsstrang zu finden. Die Mehrscheibenkupplung wiederum, auch Lamellenkupplung genannt, wird häufig im Kraffradbereich eingesetzt. Je nach Bedingungen und Nutzen kann diese Kupplung sowohl als Trocken- als auch als Nasskupplung, meistens mit dem Medium Öl, verwendet werden. Die Betätigung der einzelnen Kupplungen kann sowohl mechanisch, elektromagnetisch, hydraulisch als auch pneumatisch stattfinden. Des Weiteren wird häufig noch eine Unterteilung anhand der Form der Reibflächen durchgeführt. Diese können eben, kegelig oder zylindrisch ausgeformt sein. [2]

3.2 Aufgaben der Reibscheibenkupplung

Die Reibscheibenkupplung als solche hat mehrere unterschiedliche Aufgaben im Antriebsstrang zu erfüllen.

- a) Sie hat dafür zu sorgen, dass das Motordrehmoment in jeder Fahrsituation auf das Getriebe übertragen werden kann.
- b) Ebenso soll sie eine Drehzahlangleichung vom Schwungrad und der Eingangsgetriebewelle ermöglichen und so ein weiches und ruckfreies Anfahren sicherstellen.
- c) Außerdem sorgt sie dafür, dass das Schalten der Gänge während der Fahrt funktioniert, indem sie den Kraftfluss zwischen Motor und Getriebe unterbricht und somit ein Gleichlauf der zu schaltenden Getriebeteile ermöglicht wird.
- d) Eine weitere wichtige Funktion der Kupplung ist, Drehschwingungen, die durch die Leertakte des Motors entstehen, zu dämpfen und hierdurch Getriebegeräusche zu minimieren.

- e) Die letzte Aufgabe der Kupplung besteht darin, einen Überlastschutz für den Motor und die Antriebsteile darzustellen für den Fall, dass das Drehmoment innerhalb des Antriebsstrangs zu groß wird.

[3]

3.3 Besonderheiten der reibschlüssigen Kupplungen

Im Bereich der Kraftübertragung wird häufig von Anfahrkupplungssystemen gesprochen. Gerade das Anfahren stellt für die Kategorie der reibschlüssigen Kupplungen eine besondere Herausforderung dar, weil in diesem Moment die Kurbelwelle bereits ein hohes Drehmoment besitzt und die Getriebeeingangswelle noch still steht. Wird nun die Kupplung langsam losgelassen, so entsteht zuerst eine Gleitreibung zwischen dem Schwungrad, der Mitnehmerscheibe und der Druckplatte. Hierbei entsteht sehr viel Wärme, da die Kupplung teilweise durchrutscht. Dies führt zu einer verhältnismäßig großen Abnutzung an den Kupplungsbelägen. Erst wenn die Haftreibung eintritt (das Kupplungspedal ist losgelassen), geht der Verschleiß wieder gegen null. Das liegt daran, dass nun eine hundertprozentige kraftschlüssige Verbindung besteht. Beim Schalten zwischen den Gängen tritt nahezu keine Gleitreibung auf, da in diesem Zustand das Schwungrad und die Getriebeeingangswelle fast die gleiche Drehzahl aufweisen. [20]

4 Recherche der am Markt erhältlichen Anfahrkupplungssysteme

Der Markt für die Antriebstechnologien bietet ein weites Feld an unterschiedlichsten Komponenten für die Kraftübertragung. Es gibt im Antriebsstrang grundsätzlich vier unterschiedliche Wirkungsprinzipien, auf die Hersteller bei der Wahl einer schaltbaren Kupplung zurückgreifen können. Hier sind zu nennen:

- a) Formschlüssige Kupplungen (Klauenkupplungen)
- b) Reibschlüssige Kupplungen (Einscheiben-Tellerfederkupplung)
- c) Elektrische Kupplungen (Magnetpulverkupplung)
- d) Hydrodynamische Kupplungen (Fluidkupplung)

[2]

In Folge dieser Bachelorarbeit soll auf die Kupplungssysteme eingegangen werden, die im Bereich der PKW, LKW und Kraftradtechnik hauptsächlich ihre Verwendung finden. Hierbei handelt es sich um die Einscheiben-Tellerfederkupplung, die Zweischeibenkupplung, die Doppelkupplung, die Lamellenkupplung, die Magnetpulverkupplung sowie um die Hydrodynamische Kupplung.

4.1 Einscheiben-Tellerfederkupplung

Die Einscheiben-Tellerfederkupplung, auch Membranfederkupplung genannt, ist die gängigste Kupplungsvariante im Antriebsstrang. Sie kommt sowohl im Personen- als auch im Nutzkraftwagenbereich vor. Der grundlegende Aufbau mit den Bezeichnungen der Einzelkomponenten einer solchen Kupplung ist in Abbildung 4-1 dargestellt.

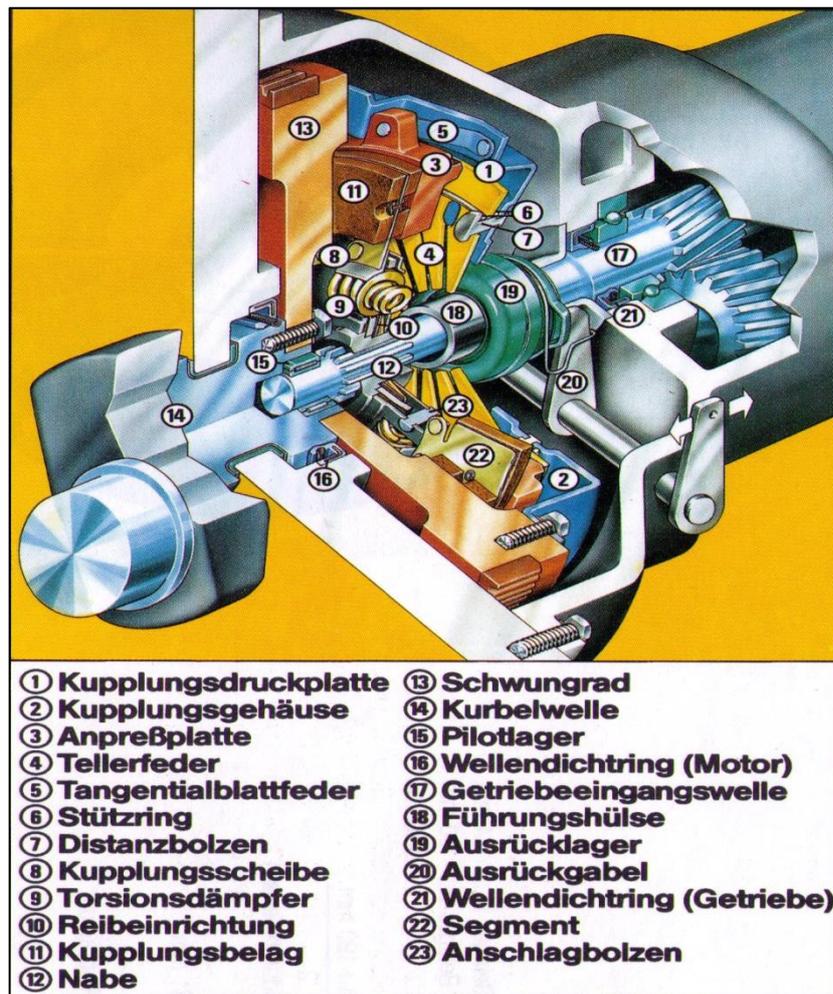


Abbildung 4-1: Tellerfederkupplung [11]

In Abbildung 4-2 sind die beiden unterschiedlichen Kupplungszustände abgebildet. In der linken Grafik sieht man den eingekuppelten kraftschlüssigen Zustand, in dem der Motor ein Drehmoment auf das Getriebe übertragen kann. Die rechte Abbildung stellt die Kraftunterbrechung dar, den sogenannten ausgekuppelten Zustand, infolge dessen keine Kraftübertragung vom Motor zum Getriebe möglich ist.

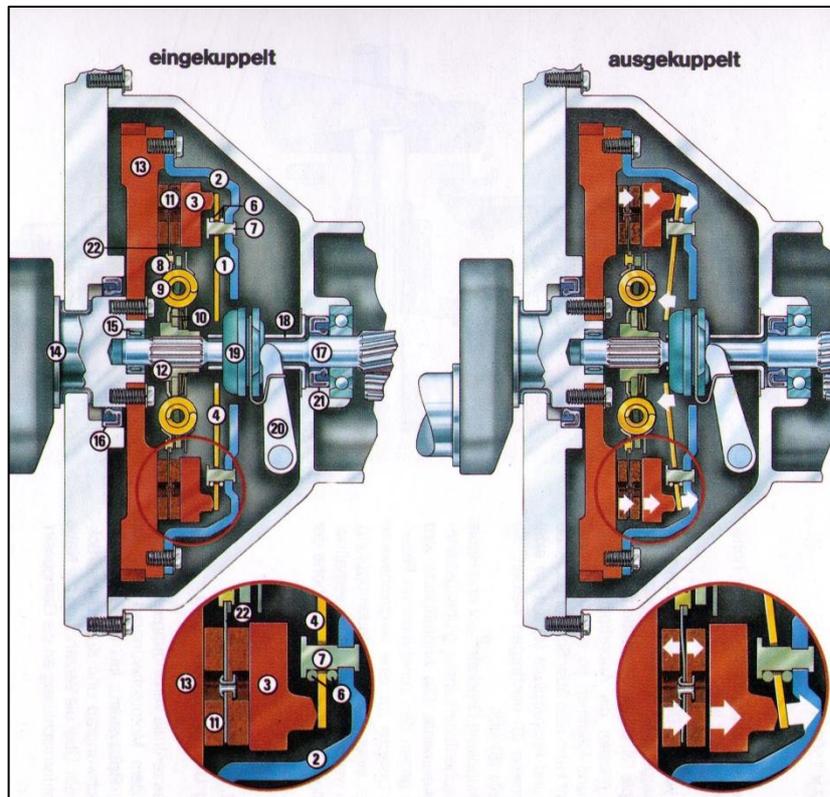


Abbildung 4-2: Schaltzustände der Tellerfederkupplung [11]

4.1.1 Die Funktionsweise der Tellerfederkupplung

Die Tellerfederkupplung bedient sich dem physikalischen Prinzip der Reibung, um ihre Funktion der Drehmomenten-Übertragung zu erfüllen. Anhand der Abbildung 4-1 soll der Verlauf des Drehmoments nachfolgend erklärt werden. Das Drehmoment wird von der Kurbelwelle (14) des Motors auf das Schwungrad (13) und das Kupplungsgehäuse (2) weitergeleitet. Diese drei Komponenten sind fest miteinander verschraubt. Vom Schwungrad wird das Moment auf die Mitnehmerscheibe übertragen. Die Mitnehmerscheibe selbst besteht aus den Kupplungsbelägen (11), den Federsegmenten (22) und der Kupplungsscheibe (8). Diese Komponenten sind alle miteinander vernietet. Um einen Kraftfluss herzustellen, muss die Mitnehmerscheibe getriebeseitig ebenfalls an das Schwungrad gedrückt werden.

Dies wiederum geschieht durch die Anpressplatte (3). Diese wird von der Tellerfeder (4) kontinuierlich gegen den getriebeseitigen Kupplungsbelag gedrückt. Damit das Drehmoment letztendlich von der Mitnehmerscheibe auf die Getriebeeingangswelle (17) übertragen werden kann, ist diese mit einer Verzahnung axialbeweglich auf eine Nabe (12) aufgesetzt, die in direkter Verbindung mit der Getriebeeingangswelle steht. Somit ist ein Kraftfluss von Motor zum Getriebe möglich.

Soll der Kraftfluss unterbrochen werden, weil der Fahrer zum Beispiel den Gang wechseln möchte, so geschieht dies durch das Treten auf das Kupplungspedal im Fahrzeug. Hierdurch wird entweder mechanisch, elektronisch, hydraulisch oder pneumatisch die Ausrückgabel (20) betätigt. Durch die Betätigung der Ausrückgabel wird das Ausrücklager (19) in Richtung der Tellerfeder gedrückt, wodurch die Spitzen der Tellerfeder in Richtung des Motors verformt werden. Hierdurch wird ein Hebeleffekt ausgeübt, der durch das Zusammenspiel mit der Tellerfederlagerung, bestehend aus dem Stützring (6) und Distanzbolzen (7), entsteht. Dies hat zur Folge, dass die Anpressplatte weniger belastet wird und mithilfe der Tangentialblattfedern (5) von der Kupplungsscheibe gelöst werden kann. Dieser Vorgang verursacht einen Luftspalt zwischen der Anpressplatte und der Kupplungsscheibe, sowie zwischen der Kupplungsscheibe und dem Schwungrad. Es besteht somit kein Kraftfluss mehr zwischen Motor und Getriebe. Das Fahrzeug ist ausgekuppelt. [11]

4.1.2 Besonderheiten der Tellerfederkupplung

Die Tellerfederkupplung als solche besitzt eine Reihe von Bauteilen, die für ihre Funktion nicht notwendig sind, denen aber trotzdem eine große Bedeutung zu Gute kommt:

- a) Der Torsionsdämpfer (9) reduziert durch seine Feder- und Reibwirkung die Belastung für das Getriebe, die durch die ungleichförmige Bewegung der Kurbelwelle auftritt. Diese würde zu einem vorzeitigen Verschleiß der Kupplung führen, sowie Getriebegeräusche begünstigen.
- b) Das Pilotlager (15) dient der Führung der Getriebeeingangswelle und sorgt so dafür, dass eine ideale axiale Bewegung gewährleistet ist und somit keine Schäden durch Reibung oder Verkanten auftreten können.

- c) Die Führungshülse (18) dient der Führung des Ausrücklagers.
- d) Die Wellendichtringe (16) und (21) haben die Aufgabe, die Kupplungsglocke vor eindringendem Öl zu schützen.

[11]

Im Folgenden sollen die Tellerfeder sowie die Torsionsfeder wegen ihrer speziellen Aufgaben und dem besonderen Aufbau noch einmal genauer erläutert werden.

4.1.3 Die Tellerfeder

Die Tellerfeder als eigenständiges Bauteil ist in der Kupplungsdruckplatte fest vernietet. Die Firma LuK bietet eine Vielzahl von verschiedenen Ausführungen an, wie die Feder als Bauteil geformt und getätigt werden kann. Im Anhang A sind die Grafiken mit dem Aufbau der folgenden Kupplungen dargestellt:

- a) Tellerfederkupplung als Standardausführung
- b) Tellerfederkupplung mit Federlaschen
- c) Tellerfederkupplung mit Dreiecks-Blattfederanordnung
- d) Gezogene Tellerfederkupplung
- e) Tellerfederkupplung LuK TS
- f) Tellerfederkupplung mit Stützfeder

[11]

Zur Erläuterung der Tellerfeder ist in der nachfolgenden Abbildung 4-3 die Standardausführung einmal vergrößert dargestellt.

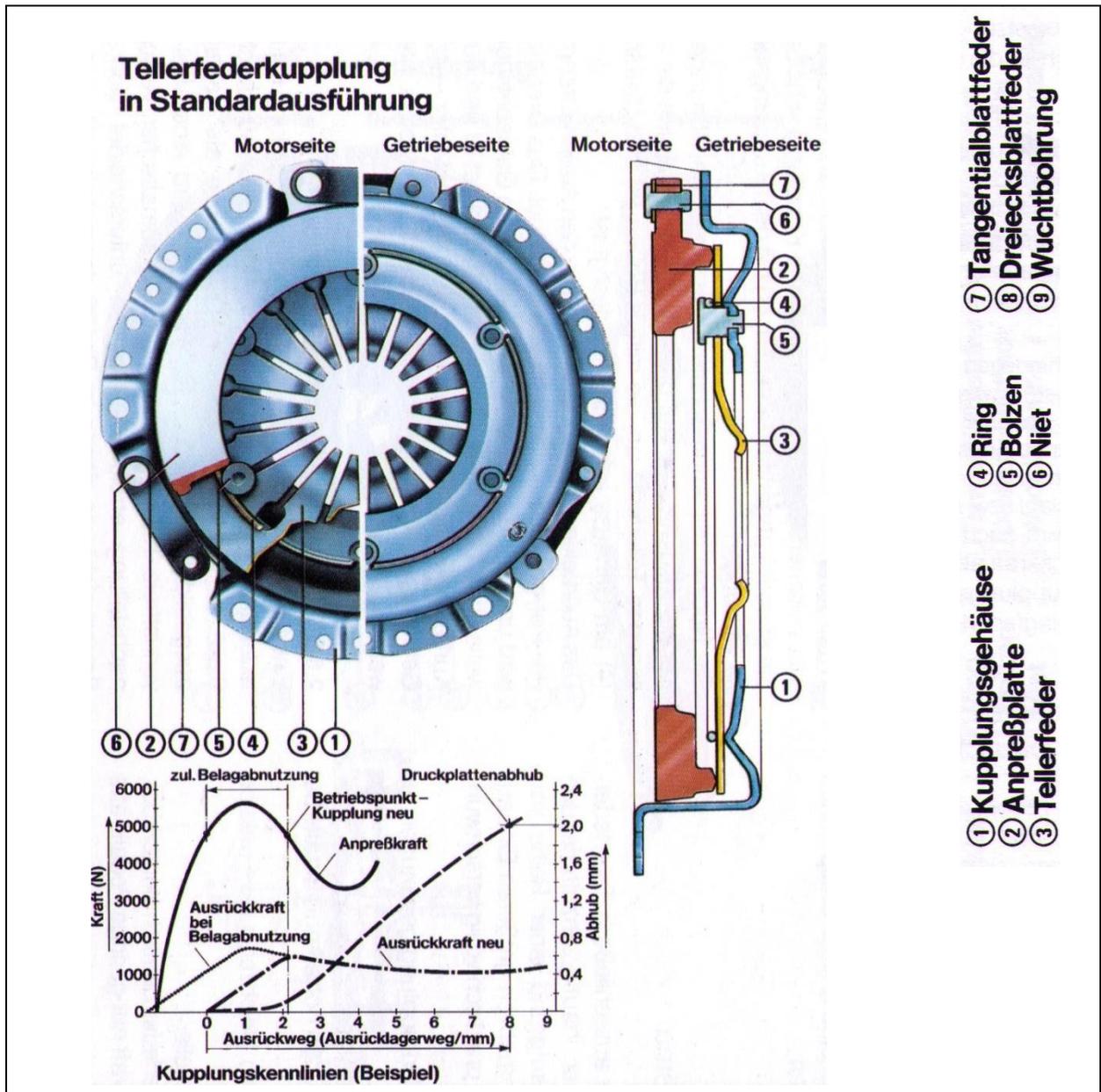


Abbildung 4-3: Kupplungsdruckplatte mit Tellerfeder in Standardausführung [11]

In der Abbildung ist zu erkennen, dass die Tellerfeder (3) zusammen mit der Anpressplatte (2) komplett im Kupplungsgehäuse (1) liegt. Sie ist so eingespannt, dass sie den notwendigen Druck aufbringen kann, um eine kraftschlüssige Verbindung zwischen Schwungrad, Kupplungscheibe und Anpressplatte zu erzeugen. Sie stützt sich dabei in einer Vertiefung im Kupplungsgehäuse und auf einem Abstützring (4) ab. Die Außenkante der Tellerfeder liegt in dieser Konstellation auf der Anpressplatte auf. Wird die Kupplung betätigt, drückt das Ausrücklager die innenliegenden Spitzen der Tellerfeder in Richtung Motor. Dadurch werden die Außenkanten der Tellerfeder über einen Hebeleffekt, der im Zusammenspiel mit der Tellerfederlagerung entsteht, von der Anpressplatte

abgehoben. Durch diesen Vorgang wird der Kraftschluss zwischen Anpressplatte, Kupplungsbelag und Schwungrad getrennt, weil die Druckkraft der Tellerfeder auf die Anpressplatte reduziert wird. Zusätzlich bewirken die Tangentialenblattfedern (7), die an der Anpressplatte und dem Gehäuse befestigt sind, dass diese beim Anheben unterstützt wird. [11]

In dem Liniendiagramm unter der Abbildung 4-3 ist beispielhaft dargestellt, wie Kraft, Weg und Abhub bei der Kupplung sich im Neuzustand verhalten, und wenn die maximale Abnutzung der Beläge von 2 mm erreicht ist. Eine Besonderheit hierbei ist, dass die Anpresskraft der Tellerfeder bei Abnutzung der Kupplungsbeläge erst auf die maximale Anpresskraft ansteigt, und schließlich nach knapp 1 mm Abnutzung anfängt, abzufallen. Dieses Verhalten der Tellerfeder ist extra so berechnet, da so sicherstellt werden kann, dass die Kupplung, wenn sie die Verschleißgrenze erreicht hat, erst anfängt, durchzurutschen, bevor die Belagsnieten eine Beschädigung am Schwungrad anrichten könnten.

Des Weiteren ist in der Grafik das Verhältnis zwischen Abhub und Ausrücklagerweg dargestellt. Es ist zu sehen, dass bei maximalem Ausrücklagerweg von 8 mm der Abhub der Druckplatte gerade mal 2 mm beträgt. [11]

4.1.4 Der Torsionsdämpfer

Die Aufgaben, die eine moderne Kupplungsscheibe heutzutage erfüllen muss, werden immer vielseitiger. Eine der wichtigsten in diesem Zusammenhang ist, die Schwingungen, die der Verbrennungsmotor aufgrund der ungleichen Drehbewegungen erzeugt, zu dämpfen und so einen vorzeitigen Verschleiß der Zahnflanken sowie Getriebegeräusche zu minimieren. Durch den modernen Leichtbau, der auch im Antriebsstrang nicht ausbleibt, sind diese Probleme zusätzlich größer geworden, weil die Schwungmassen weiter reduziert wurden, die vorher einen größeren Teil der Schwingungen absorbieren konnten. Aufgrund dessen sind in den heutigen Kupplungsscheiben Torsionsdämpfer und Belagfederungen standardmäßig verbaut. Der Torsionsdämpfer als Bauteil ist in der Kupplungsscheibe integriert. Es gibt viele unterschiedliche Arten von Dämpfungssystemen, die individuell für jedes Fahrzeug angepasst werden müssen.

Im Folgenden sind drei Bauarten von Torsionsdämpfern der Firma LuK aufgeführt.
Im Anhang A sind die dazugehörigen Bilder hinterlegt.

- a) 2-stufiger Torsionsdämpfer
- b) 2-stufiger Torsionsdämpfer, separater Vordämpfer
- c) 2-stufiger Torsionsdämpfer, integrierter Vordämpfer, variable Reibeinrichtung

[11]

In der Abbildung 4-4 ist die Variante des 2-stufigen Torsionsdämpfers vergrößert dargestellt.

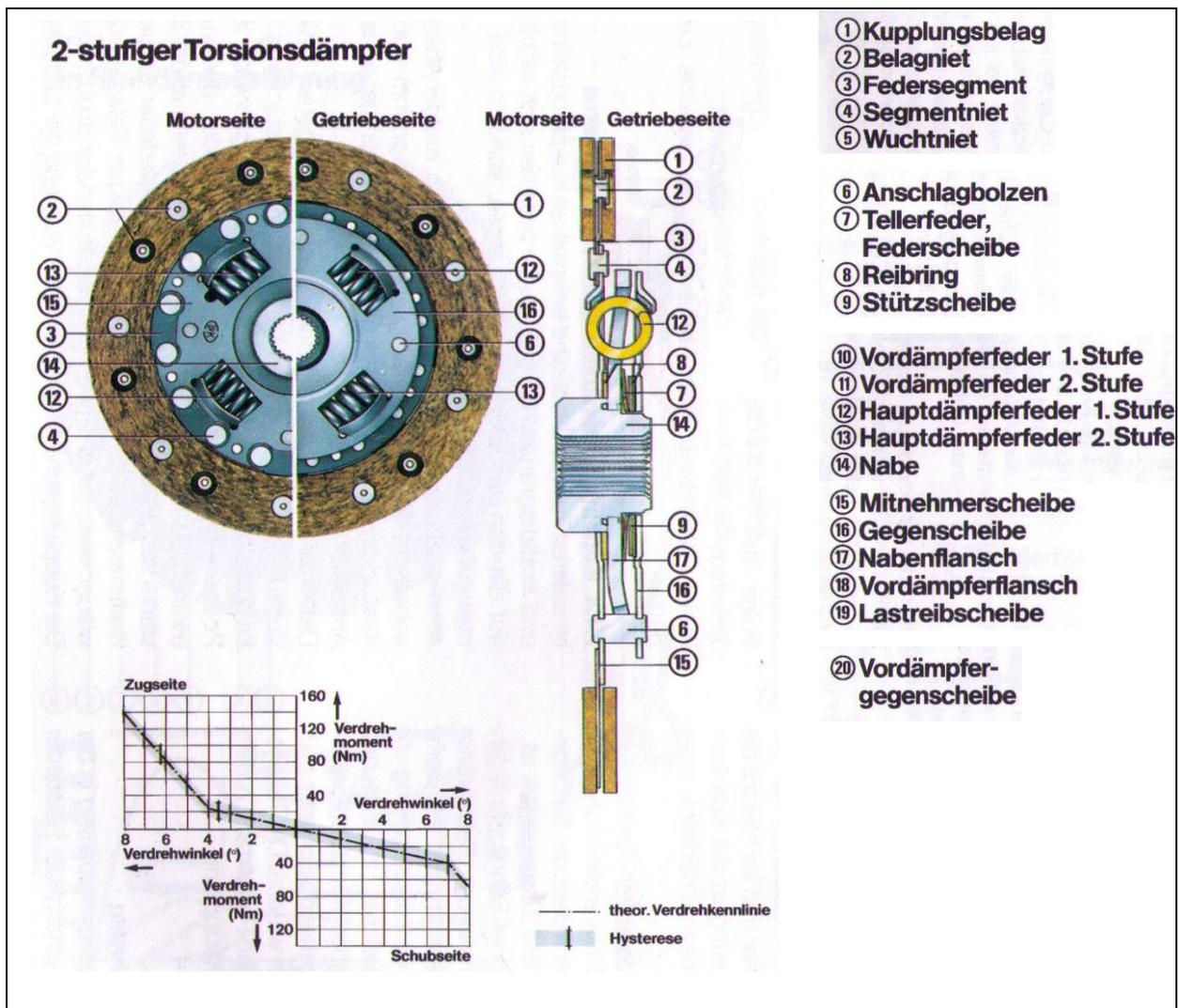


Abbildung 4-4: Kupplungsscheibe mit 2-stufigem Torsionsdämpfer [11]

In der Abbildung 4-4 ist erkennbar, dass in der Kupplungsscheibe vier tangential angeordnete Federn (12,13) verbaut sind. Die beiden sich gegenüberliegenden Federn besitzen jeweils die gleiche Federsteifigkeit. Somit sind zwei Federstufen in dieser Kupplung vorhanden. Der Nabenflansch (17), der sich zwischen der Mitnehmerscheibe (15) und der Gegenscheibe (16) befindet, kann sich zu den Federn verdrehen. Die Mitnehmer- und Geberscheibe sind fest miteinander über den Anschlagbolzen (6) verbunden. Wird nun ein Moment auf die Mitnehmer- und Geberscheibe aufgebracht, so wird dies über die Nabe an die Getriebeeingangswelle weitergegeben. Hier tritt an dieser Stelle ein Problem auf, da Federn allein keine Schwingungen absorbieren können, werden hierfür weitere Bauteile benötigt. Für diese Aufgabe sind die Reibringe (8) beidseitig am Nabenflansch angebracht. Im Zusammenspiel mit der Tellerfeder (7) und der Stützscheibe (9) sorgen sie für eine konstante Reibwirkung über das gesamte Leben der Kupplung hinweg. Im eingekuppelten Zustand drückt die Tellerfeder auf die Stützscheibe. Diese wiederum drückt getriebeseitig auf den Reibring. Vom Reibring geht der Kraftverlauf über die feste Verbindung Geberscheibe- Mitnehmerscheibe auf den zwischen Mitnehmerscheibe und Flansch liegenden Reibring auf der Motorseite. [11]

In dem Diagramm unter der Abbildung 4-4 ist der Verdrehwinkel der Feder in Abhängigkeit zum Drehmoment dargestellt. Hier ist erkennbar, dass Zugseite und Druckseite einen unterschiedlichen Verlauf aufweisen, weil die Federn für die jeweilige Beanspruchung anders ausgelegt sind. Des Weiteren ist der Übergang von der ersten zur zweiten Federstufe, dort wo der Knick eintritt, sehr gut erkennbar. [11]

4.1.5 Vor- und Nachteile der Tellerfederkupplung

Tabelle 4-1: Vor- und Nachteile der Tellerfederkupplung

| Vorteile | Nachteile |
|--|---|
| Leicht austauschbar | Kupplungsbeläge verschleifen |
| Kostengünstig im Vergleich zu anderen Varianten, da weniger komplexe Bauteile. | Je höher das Drehmoment, desto größer muss die Kupplung werden oder es müssen teurere Kupplungsbeläge benutzt werden. |
| - | Überträgt eher kleine Drehmomente, nicht für den Schwerlastbereich geeignet. |

4.2 Zweischeibenkupplung

Die Zweischeibenkupplung beruht auf demselben Wirkprinzip wie die Einscheibentellerfederkupplung. Der grundlegende Unterschied zwischen beiden Kupplungsvarianten ist, dass in der Zweischeibenkupplung, wie der Name schon sagt, zwei Kupplungsscheiben hintereinander angeordnet sind. Hierdurch ist es möglich, bei gleicher radialer Baugröße und Anpresskraft das doppelte Drehmoment zu übertragen wie bei der Einscheibentellerfederkupplung, da die doppelte Anzahl an Reibpaarungen vorhanden ist. Alternativ kann dasselbe Drehmoment wie bei der Einscheibenkupplung mit der Hälfte der Anpresskraft übertragen werden. In Abbildung 4-5 ist der Aufbau einer Zweischeibenkupplung mit den einzelnen Komponenten dargestellt. Die Abbildung 4-6 zeigt eine Zweischeibenkupplung im aufgeschnittenen Zustand. Hier ist die Anordnung der Bauteile in der Realität sehr gut erkennbar.

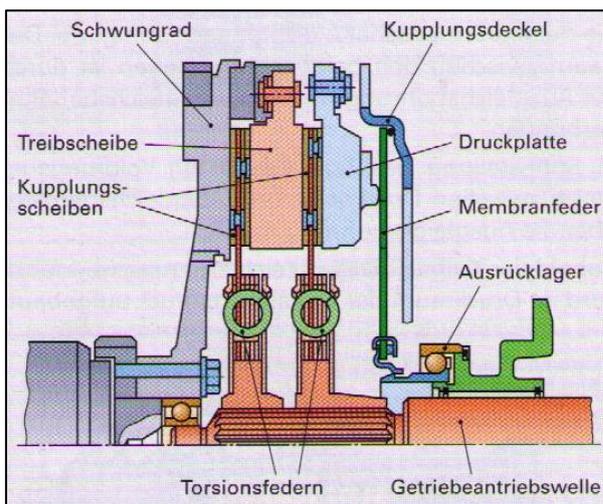


Abbildung 4-5: Grafik einer Zweischeibenkupplung [3]



Abbildung 4-6: Schnitt durch eine Zweischeibenkupplung [10]

4.2.1 Die Funktionsweise der Zweischeibenkupplung

Bei der Zweischeibenkupplung ist die Funktion ähnlich wie bei der Einscheibenkupplung aus Kapitel 4.1.1. Das Drehmoment, das der Motor erzeugt, wird über die Kurbelwelle an das Schwungrad und die Kupplungsdruckplatte weitergegeben. Die Kupplungsdruckplatte setzt sich aus dem Kupplungsdeckel, der Druckplatte, der Treibscheibe, den Mitnehmerscheiben, dem Schwungrad und der Ausrückvorrichtung zusammen. Im eingekuppelten Zustand drückt die Membranfeder

aufgrund ihrer Vorspannung die Druckplatte gegen die getriebeseitige Mitnehmerscheibe. Die Membranfeder stützt sich hierbei an der Tellerfederlagerung ab. Die Mitnehmerscheibe, die aus den Kupplungsbelägen, den Federsegmenten und der Kupplungsscheibe besteht, drückt wiederum auf die Treibscheibe. Diese hat die Aufgabe, die motorseitige Mitnehmerscheibe gegen das Schwungrad zu drücken. Somit ist eine reibschlüssige Verbindung hergestellt.

Soll der Kraftfluss nun unterbrochen werden, so tritt der Fahrer auf das Kupplungspedal im Innenraum des Fahrzeuges. Durch diese Betätigung wird das Ausrücklager von der Kupplungsscheibe weggezogen und arbeitet so gegen die Vorspannung der Tellerfeder an. Hierdurch wird die Druckplatte weniger belastet und mithilfe der Tangentialblattfedern, die am Kupplungsdeckel und der Druckplatte befestigt sind, in Richtung des Getriebes gezogen. Als Folge daraus kann die Treibscheibe, die ebenfalls mithilfe von Tangentialblattfedern am Schwungrad befestigt ist, sich in Richtung Getriebe verschieben. Dies hat zur Folge, dass ein Luftspalt zwischen dem Schwungrad, den Mitnehmerscheiben, der Treibscheibe und der Druckplatte entsteht und somit der Kraftfluss unterbrochen wird. Es besteht in diesem Moment kein Reibschluss mehr. [3]

4.2.2 Besonderheiten der Zweischeibenkupplung

Bei der Zweischeibenkupplung ist als Besonderheit die Treibscheibe aufzuführen. Sie funktioniert innerhalb der Kupplung als zusätzlicher Reibpartner für die zweite Kupplungsscheibe. Sie ist über tangentielle Blattfedern torsionssteif, aber axial beweglich am Schwungrad gelagert, um im ausgekuppelten Zustand einen Luftspalt zwischen Schwungrad, Mitnehmerscheibe und Treibscheibe realisieren zu können. Des Weiteren sind auch hier die Tellerfeder sowie die Torsionsfedern als Besonderheiten zu nennen. Ein Unterschied zur Einscheibenkupplung ist jedoch, dass in jeder Kupplungsscheibe ein eigenes Torsionsfedernpaket verbaut ist. Die Aufgaben dieser Bauteile sind dieselben wie bei der Membranfederkupplung und detailliert in den Kapiteln 4.1.3 und 4.1.4 erläutert. [3]

4.2.3 Mathematischer Vergleich Ein- und Zweiseibenkupplung

Anhand der folgenden Formeln ist nachweisbar, dass die Zweiseibenkupplung das doppelte Drehmoment wie die Einscheiben-Tellerfederkupplung übertragen kann. Zur besseren Veranschaulichung ist ein Rechenbeispiel angeführt.

Gegeben: $D = 18 \text{ cm}$; $d = 12,5 \text{ cm}$; $p = 20 \text{ N/cm}^2$; $\mu_H = 0,3$

Tabelle 4-2: Rechenbeispiel Vergleich Ein – und Zweiseibenkupplung

| Formeln | Einscheibenkupplung | Zweiseibenkupplung |
|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| $A = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2)$ | 131,75 cm ² | 131,75 cm ² |
| $F_N = A \cdot p$ | 2 635,01 N | 2 635,01 N |
| $F_R = F_N \cdot \mu_H$ | 790,50 N | 790,50 N |
| $F_K = 2 \cdot F_R \cdot z$ | 1 581,00 N | 3 162,01 N |
| $r_m = \frac{D + d}{4}$ | 7,63 cm | 7,63 cm |
| $M_K = F_K \cdot r_m$ | 12 063,03 Ncm = 120,63 Nm | 24 126,14 Ncm = 241,26 Nm |

[4]

4.2.4 Vor- und Nachteile der Zweiseibenkupplung

Tabelle 4-3: Vor- und Nachteile der Zweiseibenkupplung

| Vorteile | Nachteile |
|--|---|
| Die Kupplung kann mehr Drehmoment übertragen als die Einscheibenkupplung. | Es gibt mehr mechanische Bauteile, die verschleifen können. |
| Die Kupplung kann bei halber Anpresskraft das gleiche Drehmoment wie die Einscheiben-Tellerfederkupplung übertragen. | Sie ist teurer als die Einscheibenvariante. |
| Die Kupplung bietet ein größeres Einsatzgebiet. | - |
| Die Kupplung hat eine geringere Bauhöhe, weil der Durchmesser kleiner gehalten werden kann. | - |

4.3 Doppelkupplung

Die Doppelkupplung als solche kommt in automatisierten Schaltgetrieben in zwei Varianten am Markt vor. Es gibt sie in der Ausführung der trockenen Kupplung, aber auch als Nasskupplung. Die Doppelkupplung hat nichts mit der Zweischeibenkupplung aus Kapitel 4.2 zu tun. Es handelt sich hierbei um zwei separat schaltbare Kupplungen, die innerhalb des Antriebsstrangs unterschiedliche Getriebewellen schalten können. Kupplung eins ist über einer Vollwelle meistens für das Schalten der Gänge 1,3,5 sowie den Rückwärtsgang zuständig, während Kupplung zwei über eine Hohlwelle, in der die Vollwelle läuft, die Gänge 2,4,6 betätigt. [3]

In der Abbildung 4-7 ist ein Doppelkupplungsgetriebe dargestellt. Die Kupplung eins mit der dazugehörigen Welle und den Zahnrädern ist hier in grün gekennzeichnet. Die blaugefärbten Komponenten stellen die Kupplung zwei mit der Hohlwelle da.

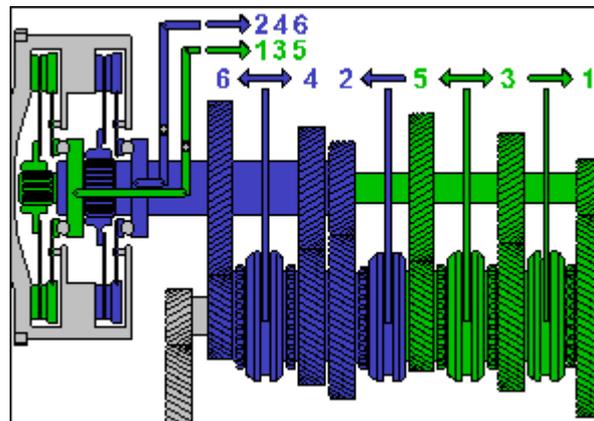


Abbildung 4-7: Doppelkupplung mit Direktschaltgetriebe [15]

4.3.1 Funktionsweise der Doppelkupplung

Die trockene Doppelkupplung funktioniert nach einem ähnlichen Prinzip wie die Einscheiben-Tellerfederkupplung aus Kapitel 4.1. In Abbildung 4-8 ist der grundlegende Aufbau einer solchen Kupplung dargestellt.

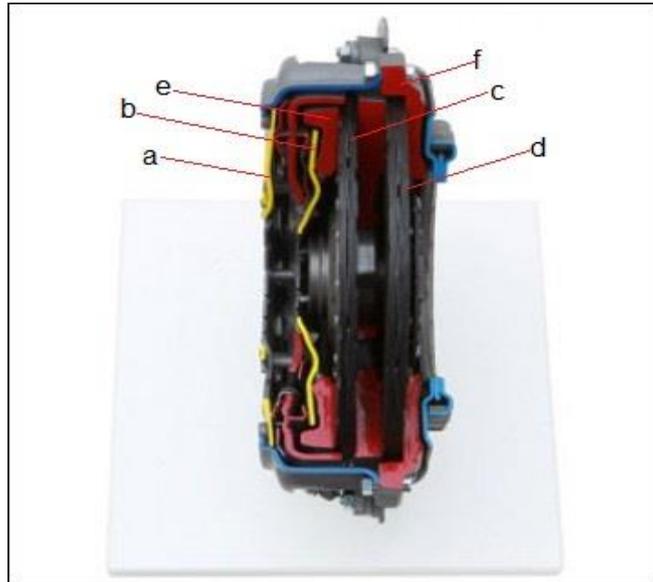


Abbildung 4-8: Aufbau einer trockenen Doppelkupplung [16]

In der obigen Abbildung ist erkennbar, dass die Doppelkupplung aus zwei nebeneinanderliegenden Kupplungsscheiben (c, d) besteht. Die Größe der Kupplungen richtet sich nach dem zu übertragenden Drehmoment, welches der Motor liefern kann. Die Mitnehmerscheiben können symmetrisch nebeneinander angeordnet sein. Dies ist häufig der Fall, wenn man einen geringen Gesamtdurchmesser der Kupplung erreichen möchte. Hierbei muss aber in Kauf genommen werden, dass die Kupplung insgesamt länger wird. Die Alternative ist, dass die Kupplungsscheiben einen unterschiedlichen Durchmesser haben und so ineinander gebaut werden können. Dies hat zur Folge, dass die Kupplung kürzer, aber vom Durchmesser größer, wird. Die trockene Doppelkupplung ist für Drehmomente bis ca. 250 Nm einsetzbar. Bei größeren Drehmomenten würde die Wärme, die durch die Reibung entsteht, nicht mehr schnell genug abgebaut werden können und so ein vorzeitiger Verschleiß eintreten. Bei trockenen Doppelkupplungen erfolgt die Betätigung meistens über elektronische Stellmotoren.

Soll nun während der Fahrt ein Gangwechsel erfolgen, ist der Vorgang ein etwas anderer als bei der Ein- oder Zweischeibenkupplung. Ist beispielsweise der erste Gang momentan eingelegt, so ist die Tellerfeder (b) vom Ausrücklager betätigt. Dies hat zur Folge, dass über die Anpressplatte (e) die Kupplungsscheibe (c) gegen die Stahlscheibe im Inneren der Kupplung gedrückt wird. Hierdurch entsteht ein Kraftfluss vom Motor über die Kupplungsscheibe zur Vollwelle der ungeraden Gänge. Zu diesem Zeitpunkt ist die Tellerfeder (a) nicht betätigt und es besteht kein Kraftfluss über die Hohlwelle zu den geraden Gängen. Soll nun in den zweiten Gang gewechselt werden, so wird während der erste Gang noch genutzt wird, der Schaltvorgang in den zweiten Gang vorbereitet. Die Schaltmuffe für diesen Gang wird schon in die Position zum Eingreifen gebracht. Kommt nun das Signal zum Gangwechsel, so betätigt das Ausrücklager die Tellerfeder (a) und löst die Tellerfeder (b). Ab diesem Zeitpunkt besteht ein Kraftfluss über die Anpressplatte (f) zur Kupplungsscheibe (d), die sich an der Stahlscheibe in der Kupplung abstützt. Diese wiederum leitet das Drehmoment an die Hohlwelle weiter, die mit den geraden Gängen in Verbindung steht. Durch das Öffnen der Tellerfeder (b) besteht in diesem Kreislauf kein Kraftschluss mehr. Der Gangwechsel ist beendet. [1]

In der Abbildung 4-9 ist die nasslaufende Doppelkupplung abgebildet. Die Funktionsweise ist im Vergleich zur trockenen Kupplungsvariante eine etwas Andere.

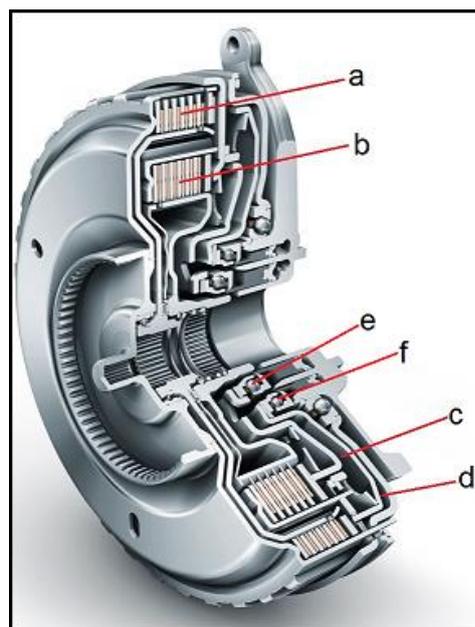


Abbildung 4-9: Aufbau einer nassen Doppelkupplung [12]

Die Kupplungsbeläge sind in dieser Kupplung nicht mehr auf Federsegmente und die Kupplungsplatten aufgenietet. In dieser Art der Kupplung gibt es sogenannte Reibpakete (a, b). Diese bestehen wechselseitig aus einer Scheibe mit einem Reibbelag und einer Stahlscheibe. Es können bis zu zehn Scheiben hintereinander gereiht sein. Durch diese Aneinanderreihung kann der Durchmesser der Scheiben sehr klein gehalten und so ein geringerer Gesamtdurchmesser der Kupplung erzielt werden. Das übertragbare Drehmoment ist durch die vielen Reibpaarungen um ein Vielfaches höher als bei der trockenen Doppelkupplung. Der rechnerische Beweis hierfür ist in Kapitel 4.2.3 bei der Zweischeibenkupplung aufgezeigt. Hinzu kommt, dass durch die in Öl laufenden Scheiben die Wärme besser abgeführt werden kann. Das hierfür benötigte Öl wird dem sowieso vorhandenen Getriebeöl entnommen. Der Ölstrom wird aber nur nach Bedarf zugeschaltet, um so möglichst leistungseffizient arbeiten zu können und unnötige Widerstände durch das Fluid zu verhindern. [8]

Nachteilig bei dieser Art der Kupplung ist allerdings, dass für das Fördern des Öls eine Extrapumpe verwendet werden muss, die dem Motor ca. 500 Watt Leistung abverlangt. Dies führt zu einer Wirkungsgradreduzierung von 3 % - 4 %. [18]

Soll nun bei der Nasskupplung ein Gangwechsel vom Ersten in den Zweiten erfolgen, so ist zu Beginn dieses Vorgangs das Ventil (e) geöffnet und das Ventil (f) geschlossen. Durch das geöffnete Ventil strömt Öl in die Kammer (c) und drückt dort, weil es sich staut, die Betätigungseinrichtung des Reibpakets (b) an die erste Reibscheibe. Das Paket aus Stahl- und Reibscheiben stützt sich hierbei an der motorseitigen Aufnahme der inneren Getriebewelle ab und überträgt so das Drehmoment auf die Welle. Während der erste Gang noch in Gebrauch ist, wird auf der Hohlwelle für den zweiten Gang, die momentan nicht im Kraftfluss eingebunden ist, schon die Schalmuffe für den zweiten Gang voreingelegt. Gibt jetzt das Steuergerät das Signal „Gang wechseln“, so wird das Ventil (e) geschlossen und das Ventil (f) öffnet. Aus der Kammer (c) entweicht das Öl über die Rücklaufkanäle. Zeitgleich füllt sich die Kammer (d) mit Öl und drückt die Reib- und Stahlscheiben (a) zusammen. Ab diesem Moment läuft der Kraftfluss über die Hohlwelle und der zweite Gang ist in Betrieb. [21]

4.3.2 Besonderheiten der Doppelkupplung

Die Doppelkupplung besitzt eine Reihe von Besonderheiten, die sie speziell für den Sportwagenbereich, aber auch für hochmotorisierte Serienfahrzeuge, interessant macht:

- a) Sie besitzt zwei Kupplungen, die separat schaltbar voneinander sind und so einen Zugkraftverlust während des Beschleunigens verhindern. Hierfür sind zwei getrennte Getriebewellen erforderlich, die ineinander laufen. Die eine Welle ist für das Schalten der geraden, die Andere für das Schalten der ungeraden Gänge zuständig. [3]
- b) Des Weiteren kann die Kupplung, da sie sowohl als Nass- als auch als Trockenversion am Markt erhältlich, ein breite Spanne an Drehmomenten abdecken. Die trockenen Kupplungen sind für die niedrigen Drehmomente geeignet, die Nasslaufenden werden meist bei hohen Drehmomenten verbaut. [1]
- c) Ein weiterer Unterschied zu den bereits genannten Kupplungen ist, dass speziell für die Nasskupplung eine Ölpumpe benötigt wird, die im Bedarfsfall Getriebeöl in die Kupplung fördert und so eine bessere Wärmeabfuhr als bei der trockenen Kupplung ermöglicht. Ebenso werden die Schaltvorgänge hierdurch erst realisierbar. [18]

4.3.3 Vor- und Nachteile der Doppelkupplung

Tabelle 4-4: Vor- und Nachteile der Doppelkupplung

| Vorteile | Nachteile |
|---|--|
| Kann ohne Zugkraftunterbrechung schalten. | Die Nasskupplung benötigt eine Extra-Ölpumpe. |
| Deckt eine große Spanne an Motordrehmomenten ab. | Viele mechanische Bauteile |
| Die Nasskupplung kann Wärme gut abtransportieren. | Teurer als Tellerfederkupplung |
| - | Kupplungsbeläge verschleifen mit der Zeit |
| - | Nur für automatisierte Schaltgetriebe geeignet |

4.4 Lamellenkupplung

Lamellenkupplungen finden in der heutigen Zeit einen großen Anwendungsbereich. Sie kommen als trocken- und nasslaufende Kupplungen am Markt vor. Je nach Betätigung, ob mechanisch, elektrisch, pneumatisch oder hydraulisch, können sie in den unterschiedlichsten Maschinen oder Fahrzeugen eingesetzt werden. Ein Einsatz ist unter anderem im Doppelkupplungsgetriebe unter Kapitel 4.3 bereits genauer beschrieben. Aber auch in der Industrie haben sie einen hohen Stellenwert. So werden sie zum Beispiel in Produktionslinien eingesetzt, um Motoren mit großem Drehmoment von Getrieben trennen zu können. Ein weiterer Einsatzbereich für die Lamellenkupplung findet sich im Kraftradbereich. Aufgrund der geringen Baugröße in Verbindung mit der hohen Drehmomentübertragbarkeit, welche durch die vielen Reibpaarungen zustande kommt, ist diese Kupplungsart beispielsweise sehr gut geeignet für Quads, Karts und Motorräder. [2]

4.4.1 Aufbau und Funktionsweise der Lamellenkupplung

Die Lamellenkupplung ist am Markt als Nass- und als Trockenkupplung in heutigen Antriebsträngen vertreten. Der Aufbau dieser beiden Kupplungsvarianten unterscheidet sich aber nicht gravierend voneinander. Der größte Unterschied zwischen den beiden Kupplungen ist, dass bei der Nasskupplung die Lamellen in Öl laufen und so eine gesonderte Abdichtung der Kupplung nach außen sichergestellt werden muss. In Abbildung 4-10 ist der Aufbau einer trockenen Lamellenkupplung vom Kraftrad dargestellt. Die Abbildung 4-11 zeigt die einzelnen Komponenten in einer zerlegten Ansicht ohne Druckpilz und Druckstange. Zur Vereinfachung ist jeweils nur eine Stahl- und eine Reiblamelle abgebildet.

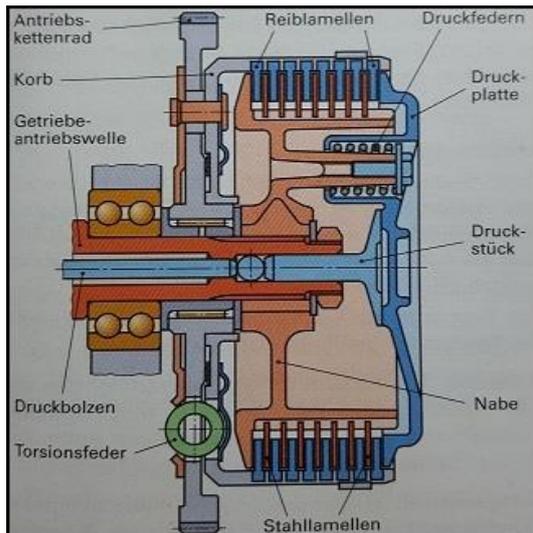


Abbildung 4-10: Die trockene Lamellenkupplung [3]



Abbildung 4-11: Einzelteile Ansicht einer Lamellenkupplung

Der Verlauf des Kraftflusses soll anhand der Abbildung 4-10 erklärt werden. Er ist sowohl bei der Nass- als auch bei der Trockenkupplung nahezu identisch. Das Motordrehmoment wird auf das Antriebskettenrad übertragen. Dieses ist mit dem Korb fest verschraubt. In den Korb greifen die Reiblamellen ein und nehmen so das Drehmoment des Motors auf. Im eingekuppelten Zustand drückt die Druckplatte durch die Belastung der Druckfedern, die sich auf der Druckplatte selbst abstützen und mit der Nabe verschraubt sind, die Reib- und Stahllamellen zusammen. Die Stahllamellen sind mit einer Verzahnung auf der Nabe aufgesetzt. Die Lamellen kommen immer im Wechsel vor, auf eine Stahllamelle folgt eine Reiblamelle. So ergibt sich letztendlich ein Lamellenpaket. Durch das Zusammendrücken der einzelnen Lamellen entsteht eine reibschlüssige Verbindung, die das Drehmoment auf die Nabe übertragen kann. Die Nabe selbst ist mit der Getriebeeingangswelle verbunden und leitet so das Moment ins Getriebe weiter.

Soll ausgekuppelt werden, um einen Gangwechsel zu ermöglichen, so zieht der Fahrer den Kupplungszug am Lenker. Hierdurch drückt das Ausrücklager den Druckbolzen durch die hohlgebohrte Getriebewelle gegen das Druckstück. Das Druckstück drückt von innen auf die Druckplatte und sorgt dafür, dass die Druckfedern zusammengedrückt werden und die Druckplatte sich von den Lamellen abhebt. Ab diesem Moment besteht keine reibschlüssige Verbindung mehr zwischen Reib- und Stahllamellen. Der Kraftfluss ist unterbrochen [3]

4.4.2 Besonderheiten der Lamellenkupplung

Die Lamellenkupplung weist aufgrund ihrer Bauform einige Besonderheiten auf:

- a) Bei der Lamellenkupplung tritt ein sogenanntes Leerlaufdrehmoment auf. Dies entsteht dadurch, dass sich die Lamellen im ausgekuppelten Zustand leicht berühren und eine gewisse Reibung zwischen ihnen entsteht. Bei Nasskupplungen ist dieser Wert deutlich kleiner als bei Trockenkupplungen, weil das Öl die Reibwerte herabsetzt. Das Leerlaufdrehmoment ist von folgenden Parametern hauptsächlich abhängig: Anzahl der Reibpaarungen, Form der Reibbeläge, Relativdrehzahl, Einbaulage, Temperatur und Qualität sowie Viskosität des Öls bei Nasskupplungen. Das Leerlaufdrehmoment kann bis zu 3 % des Gesamtdrehmoments betragen [2]
- b) Bei der Wahl des Öls ist auf die richtige Bezeichnung zu achten. Es ist entscheidend, welche Art von Kraftrad man fährt, ob Viertakt- oder Zweitaktmotor. Bei Zweitaktmotoren wird meistens für Motor und Getriebe ein separates Öl benutzt, bei Viertaktmotoren ist meistens nur ein Ölkreislauf für Getriebe, Motor und gegebenenfalls Kupplung vorhanden. Außerdem ist wichtig, ob das Öl eine Legierung enthalten darf, da diese unter Umständen den Reibwert der Reibbeläge herabsetzen würden. Ebenso ist auf eine hohe Temperaturbeständigkeit zu achten, da sonst eine Oxidation in Verbindung mit der Luft und der Wärme eintreten könnte. [2]
- c) Bei der Trockenkupplung ist im Leerlauf ein typisches Rasselgeräusch wahrnehmbar, welches durch die Bewegung der Lamellen entsteht.

4.4.3 Vor- und Nachteile der Lamellenkupplung

Tabelle 4-5: Vor- und Nachteile der Lamellenkupplung

| Vorteile | Nachteile |
|--------------------------------------|--|
| Hohe Drehmomentübertragbarkeit | Leerlaufdrehmoment |
| Geringe Baugröße | Rasselgeräusche bei trockenen Kupplungen |
| Einfaches Wirkungsprinzip | Sehr wärmeempfindlich |
| Kupplung ist sehr schnell wechselbar | Kupplungsbeläge verschleißten mit der Zeit |
| Preiswert | - |

4.5 Magnetpulverkupplung

Die Magnetpulverkupplung findet ihre Verwendung im Antriebsstrang von niedrig motorisierten Personenkraftwagen. Sie wird meistens in Verbindung mit CVT-Getrieben verbaut. [3]

Dies sind stufenlos schaltbare Getriebe, die über eine Radienänderung von zwei kegelig angeordneten Rädern die Geschwindigkeit von beispielsweise einer Kette oder einem Riemen ändern. In Abbildung 4-12 ist die Funktion eines solchen stufenlosen Getriebes vereinfacht dargestellt.

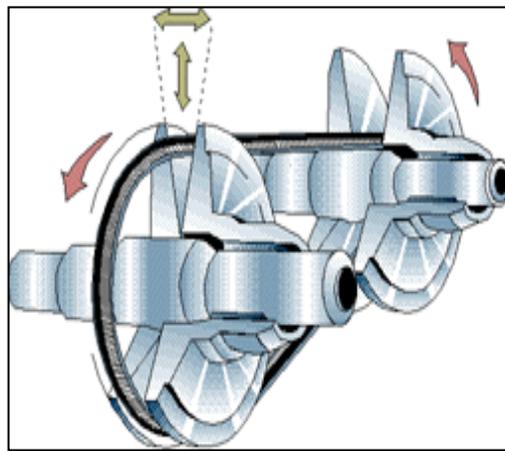


Abbildung 4-12: Vereinfachte Darstellung eines CVT – Getriebes [7]

4.5.1 Aufbau und Funktionsweise der Magnetpulverkupplung

Die Magnetpulverkupplung unterscheidet sich von den bisher betrachteten Kupplungsarten in ihrer Funktionsweise. Zur Betätigung dient ihr ein elektrischer Strom, der von einem Steuergerät in Abhängigkeit von Drehzahl, Fahrgeschwindigkeit und Fahrpedalstellung gesteuert wird. Allerdings nutzt sie letztendlich, wie auch die vorherigen Kupplungen, das physikalische Prinzip der Reibung, um ein Drehmoment zu übertragen. In Abbildung 4-13 ist der Aufbau einer Magnetpulverkupplung dargestellt. [3]

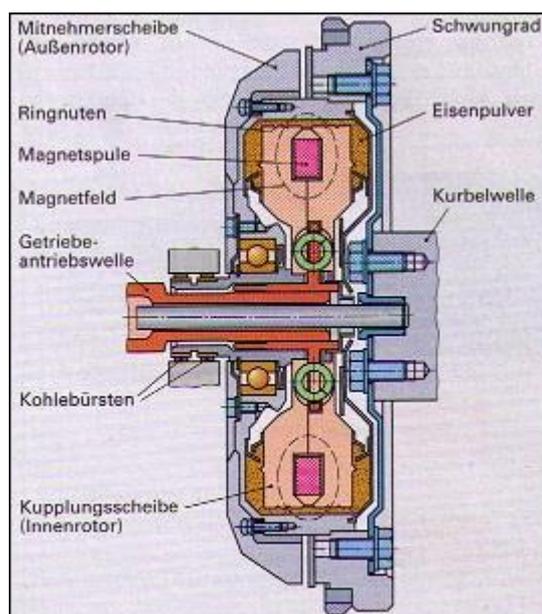


Abbildung 4-13: Aufbau einer Magnetpulverkupplung [3]

In der obigen Abbildung 4-13 ist erkennbar, dass die Motorseite rechts und die Getriebeseite links dargestellt sind. Das vom Motor erzeugte Drehmoment wird von der Kurbelwelle auf das mit ihr fest verschraubte Schwungrad übertragen. Das Schwungrad steht in Verbindung mit der Mitnehmerscheibe, auch Außenrotor, genannt. Zwischen dem Schwungrad und dem Außenrotor befindet sich die Kupplungsscheibe, die auch als Innenrotor bezeichnet wird. Zwischen dem Innen- und dem Außenrotor befindet sich in der Ringnut das Eisenpulver, welches letztendlich für die Übertragung des Drehmomentes zuständig ist. In der Kupplungsscheibe sind Magnetspulen verbaut, die zum Ein- und Ausschalten des Magnetfeldes dienen. Diese werden über die Kohlebürsten vom Generator mit Strom versorgt. Soll nun ein Drehmoment von der Mitnehmerscheibe zum Getriebe übertragen werden, so wird vom Steuergerät ein Strom in die Magnetspulen eingeleitet. Hierdurch baut sich ein Magnetfeld auf, dessen Stärke je nach Drehzahl, Fahrgeschwindigkeit und der Fahrpedalstellung angepasst wird. [3]

Dieses Magnetfeld sorgt dafür, dass das Eisenpulver aufmagnetisiert wird und sich kettenförmig zwischen Außen- und Innenrotor in der Ringnut zusammenschließt. Hierdurch wird eine reibschlüssige Verbindung geschaffen, die je nach Stärke des eingebrachten Stroms ein unterschiedlich großes Drehmoment vom Außenrotor zum Innenrotor übertragen kann. [2]

Der Innenrotor wiederum gibt das Drehmoment letztendlich an die Getriebeeingangswelle weiter, mit der er fest verbunden ist. Hierdurch besteht eine kraftschlüssige Verbindung zwischen Motor und Getriebe. [3]

Soll der Kraftfluss unterbrochen werden, so schaltet das Steuergerät die Stromzufuhr zu den Magnetspulen ab. Hierdurch bricht das Magnetfeld zusammen und die kettenförmigen Verbindungen des Eisenpulvers lösen sich auf, was zur Folge hat, dass die reibschlüssige Verbindung zwischen Mitnehmerscheibe und Kupplungsscheibe aufgelöst wird. Somit besteht keine kraftschlüssige Verbindung mehr im Antriebsstrang.

4.5.2 Besonderheiten der Magnetpulverkupplung

Die Magnetpulverkupplung bietet aufgrund der speziellen Betätigung einige Besonderheiten:

- a) Es besteht die Möglichkeit, Drehmomente schlupffrei zu übertragen. Dies liegt daran, dass, sobald die Kupplung bestromt wird, eine Übertragung des Drehmoments stattfindet, weil das Eisenpulver ab diesem Moment beginnt, eine reibschlüssige Verbindung herzustellen. [14]
- b) Eine weitere positive Eigenschaft der Kupplung ist, dass das übertragbare Drehmoment regelbar ist. Je stärker der Erregerstrom der Magnetspule ist, desto stärker wird auch das Magnetfeld ausgeprägt. Dies hat zur Folge, dass das Eisenpulver je nach Bedarf eine stärkere oder schwächere Verbindung zwischen Mitnehmerscheibe und Kupplungsscheibe herstellen kann. Durch diese Eigenschaft dient die Kupplung auch als Sicherheitskupplung. Ist das maximal übertragbare Drehmoment erreicht, das Lastdrehmoment ist aber größer, so rutscht die Kupplung durch, überträgt aber das maximal mögliche Moment trotzdem weiter. [2]
- c) Des Weiteren ist das gute Wärmeabfuhrvermögen in Verbindung mit der großen Wärmespeicherfähigkeit des Magnetpulvers eine Besonderheit dieser Kupplung. Dies liegt daran, dass Eisen als Medium Wärme sehr gut aufnehmen, aber auch schnell wieder abgeben kann. Hierdurch ist das Pulver sehr widerstandsfähig, muss aber trotzdem einmal jährlich gewechselt werden. [2]

4.5.3 Vor- und Nachteile der Magnetpulverkupplung

Tabelle 4-6: Vor- und Nachteile der Magnetpulverkupplung

| Vorteile | Nachteile |
|---|---|
| Das Drehmoment ist regelbar | Kohlebürsten können verschleifen |
| Die Kupplung arbeitet nahezu schlupffrei | Extra Steuergeräte erforderlich |
| Gute Temperaturbeständigkeit des Überträger-Mediums | Eisenpulver muss regelmäßig getauscht werden |
| - | Die Kupplung ist teurer als die mechanischen Kupplungen |

4.6 Hydrodynamische Kupplung

Die Hydrodynamische Kupplung, auch als Drehmomentwandler bezeichnet, kommt in heutigen Antriebssträngen von PKW und LKW in Verbindung mit Automatikgetrieben vor. Sie bietet den Vorteil, dass Schaltvorgänge vollkommen automatisiert stattfinden. Hierdurch entfällt das selbstständige Kuppeln des Fahrers. Im Fahrzeuginneren sind nur noch ein Brems- sowie ein Gaspedal verbaut. Das Kupplungspedal als eigene Komponente kommt in dieser Konstellation nicht mehr vor. Die Schaltvorgänge werden von einem separaten adaptiven Steuergerät eingeleitet. Hierfür werden als Hauptsteuergrößen die Wahlhebelstellung, die Fahrgeschwindigkeit sowie die Motorbelastung herangezogen. [3]

In der Abbildung 4-14 ist ein aufgeschnittener am Markt erhältlicher Drehmomentwandler dargestellt. Die grüngefärbten Komponenten gehören zur Überbrückungskupplung. Die in rot dargestellten Bauteile sind das Gehäuse mit dem Pumpenrad und das Hellblaugefärbte stellt das Turbinenrad da. Die silberfarbene Scheibe in der Mitte ist das sogenannte Leitrad.

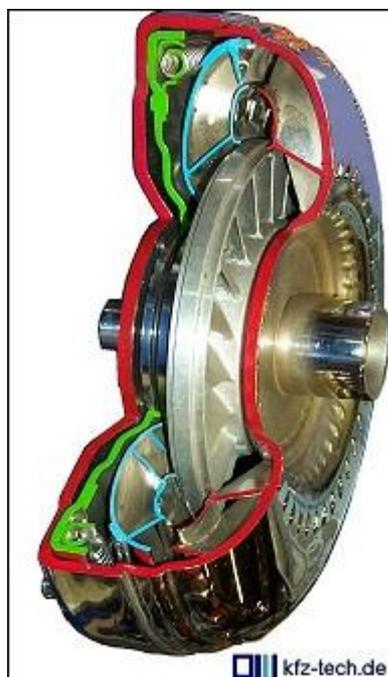


Abbildung 4-14: Schnitt durch einen Drehmomentwandler [9]

4.6.1 Aufbau und Funktionsweise der Hydrodynamischen Kupplung

In der Abbildung 4-15 ist eine Fluidkupplung mit ihren einzelnen Bestandteilen dargestellt. Zusätzlich ist im rechten Teil der Grafik der Verlauf des Ölstroms vom Pumpenrad zum Turbinenrad über das dazwischenliegende Leitrad abgebildet.

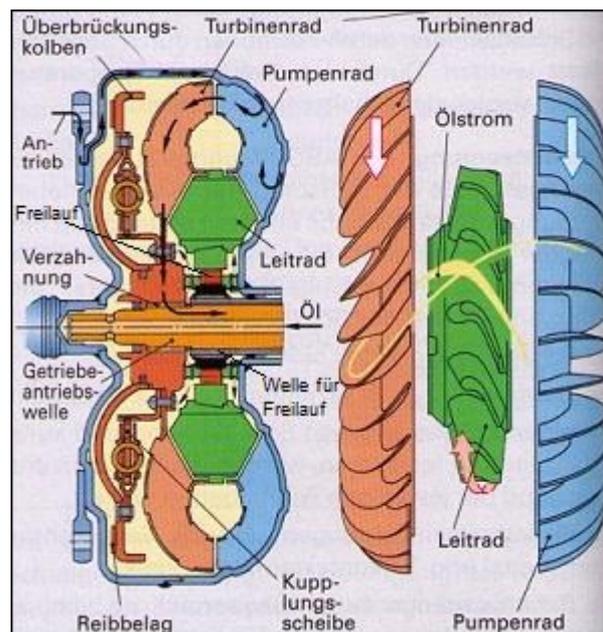


Abbildung 4-15: Aufbau eines Hydrodynamischen Drehmomentwandlers [3]

Die Fluidkupplung als Anfahrerelement macht sich ein anderes Wirkprinzip als die bisher vorgestellten Kupplungen zu Nutze. Das Wirkprinzip dieser Kupplung beruht darauf, dass ein Schlupf, entstehend durch Drehzahlunterschiede zwischen Pumpenrad und Turbinenrad, in jeder Fahrsituation gegeben ist. Daher wird diese Kupplung auch als Schlupfkupplung bezeichnet. [13]

Wie dieser Schlupf zustande kommt, soll anhand der Abbildung 4-15 erklärt werden. Das Pumpenrad ist über das Gehäuse fest mit dem Schwungrad und somit mit der Kurbelwelle des Motors verbunden. Hierdurch wird das Drehmoment des Motors auf das Pumpenrad übertragen. Das Pumpenrad treibt hierbei eine Ölpumpe an, die einen konstanten Öldruck von 3 bis 4 Bar innerhalb der Kupplung sicherstellt. In diesem Ölkreislauf befinden sich zusätzlich eine Drossel im Rücklauf, um die Geschwindigkeit zu reduzieren, ein Ölkühler, der das warme Öl aus der Kupplung wieder abkühlen soll, sowie ein Vorratsbehälter, der eine ausreichende Versorgung

mit kaltem Hydrauliköl sicherstellt. Der eingebrachte Druck in der Kupplung ist notwendig, weil so die Kavitation innerhalb des Gehäuses unterbunden werden kann und der Wirkungsgrad konstant bleibt.

Die Drehung des Pumpenrades bewirkt aber noch ein weiteres Geschehen. Durch die eingebrachte Rotationsbewegung wird das Öl im Inneren der Kupplung durch die Zentrifugalkraft nach außen gedrückt und zum Turbinenrad transportiert. Das Turbinenrad sowie das Leitrad stehen zu Beginn einer jeden Anfahrssituation still. Trifft nun der Ölstrom auf die gekrümmten Schaufeln des Turbinenrades, diese sind nach innen gerichtet, so wird dieser in Richtung des Leitrades umgelenkt. Das Turbinenrad beginnt erst sich zu drehen, wenn das vom Ölstrom aufgebrachte Drehmoment auf die Schaufeln größer ist, als das Widerstandsmoment, was die Getriebeeingangswelle diesem entgegensetzt. Diese Situation tritt ein, wenn der Fahrer zum Anfahren an einer Ampel die Motordrehzahl erhöht und somit das Pumpenrad einen stärkeren Ölstrom erzeugt. Der umgelenkte Ölstrom vom Turbinenrad in Richtung des Leitrades versucht, das Leitrad entgegen der Drehrichtung von Turbinenrad und Pumpenrad zu drehen. Diese Drehrichtung ist aber durch den Freilauf im Wandler blockiert. Hierdurch staut sich das Öl an den um 90 Grad gekrümmten Schaufeln des Leitrades. Dieser Rückstau bewirkt eine Verstärkung der Drehkraft am Turbinenrad. Die erhöhte Drehkraft hat eine Verstärkung des Drehmomentes am Turbinenrad zur Folge. Somit ist eine Drehmomentsteigerung von der Eingangswelle zur Ausgangswelle möglich. Um den Ölkreislauf im Wandler zu schließen, leiten die Schaufeln des Leitrades das Öl in einem günstigen Winkel zurück zum Pumpenrad. Mit zunehmender Drehzahl am Turbinenrad wird der Ölstrom von diesem weniger abgelenkt, wodurch der Rückstau und die damit verbundene Drehmomentsteigerung durch das Leitrad geringer werden. Bei einem Drehzahlverhältnis von Turbinenrad zu Pumpenrad (n_t/n_p) von ungefähr 0,85 bis 0,9 wird das Leitrad von seiner Rückseite mit Öl bestromt. Dies sorgt dafür, dass der Freilauf freigegeben wird und das Leitrad sich mit dreht. Dieser Moment wird auch als Kupplungspunkt bezeichnet. [3]

In der Abbildung 4-16 ist der Kennlinienverlauf eines Drehmomentwandlers bei einem Pumpenradmoment von 200 Nm und einem Verstärkungsgrad von 2,5 vom Pumpenrad zum Turbinenrad dargestellt. Des Weiteren ist der Kupplungspunkt (K) sowie der Verlauf des Wirkungsgrades und des Drehmomentes vom Turbinenrad ersichtlich.

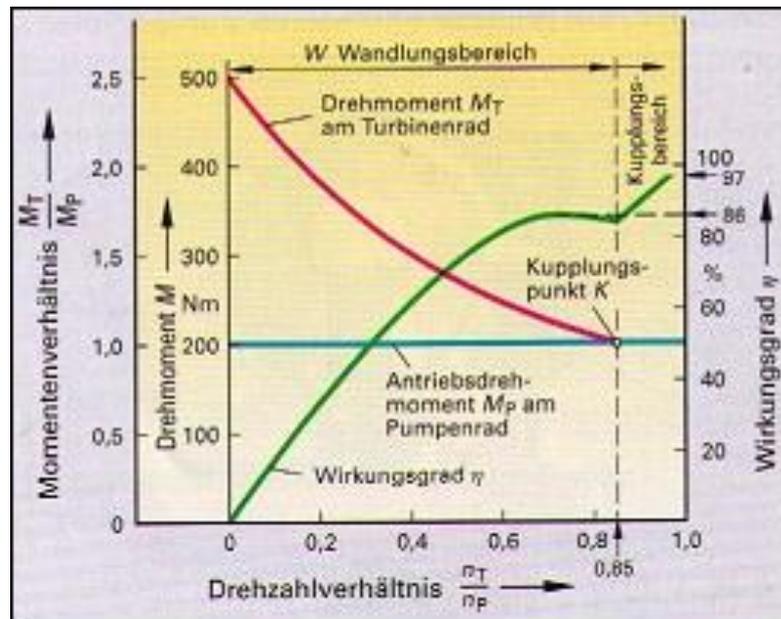


Abbildung 4-16: Beispielhafte Kennlinie eines Drehmomentwandlers [3]

Anhand der Grafik ist festzustellen, dass beim Anfahrvorgang die größte Drehmomentverstärkung im Wandler stattfindet. Der Wirkungsgrad der Kupplung nimmt bei fallendem Drehmoment am Turbinenrad stetig zu, bevor er kurz vor dem Kuppelpunkt leicht abfällt. Hier ist ersichtlich, dass nach dem sogenannten Kuppelpunkt die Überbrückungskupplung zugeschaltet wird und ein weiterer Anstieg des Drehmomentes stattfindet, weil die Strömungsverluste hierdurch wegfallen. Der Wirkungsgrad, den moderne Drehmomentwandler leisten, liegt bei hohen Drehzahlen bei ca. 97 %. Dies bedeutet, dass sich aufgrund von Drehzahlunterschieden ein Schlupf von etwa 3 % einstellt. Durch eine Überbrückungskupplung, die heutzutage immer in Verbindung mit modernen Drehmomentwandlern verbaut ist, lassen sich Strömungsverluste ausschalten und der Wirkungsgrad noch weiter steigern [3]

In den Abbildungen 4-17 und 4-18 ist ein Drehmomentwandler einmal mit geschlossener und mit geöffneter Überbrückungskupplung dargestellt.

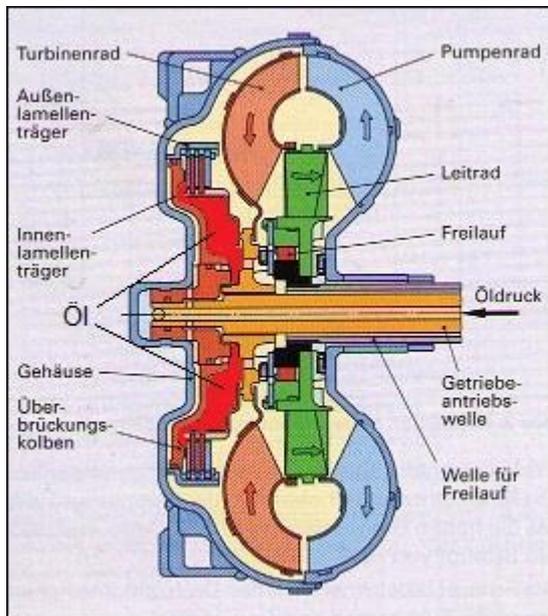


Abbildung 4-17: Drehmomentwandler mit geöffneter Überbrückungskupplung [3]

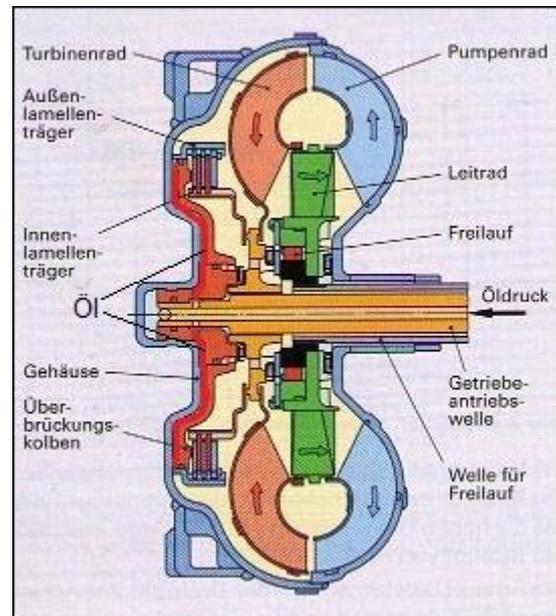


Abbildung 4-18: Drehmomentwandler mit geschlossener Überbrückungskupplung [3]

Ganz allgemein gilt, dass die Überbrückungskupplung erst geschlossen wird, wenn der oben beschriebene Kupplungspunkt erreicht ist. Für den Fall, dass dies noch nicht eingetreten sein sollte, wird über eine Bohrung in der Antriebswelle Öl in die rot gekennzeichnete Kammer in Abbildung 4-17 gefördert. Hierdurch wird der Überbrückungskolben nach links gedrückt und das Lamellenpaket entspannt. In dieser Konstellation ist die Kupplung geöffnet. Wird nun aber der Kupplungspunkt erreicht, so wird das Öl, wie in Abbildung 4-18 in rot eingezeichnet, auf die linke Seite des Überbrückungskolbens gefördert. Hierdurch werden der Außenlamellenträger, der am Gehäuse befestigt ist, und der Innenlamellenträger, der am Turbinenrad festgemacht ist, kraftschlüssig zusammengedrückt. Durch diese Konstellation besteht eine reibschlüssige Verbindung von Pumpenrad und Turbinenrad. Der Fluidstrom hat keine Auswirkung mehr auf die Kraftübertragung. [3]

4.6.2 Besonderheiten der Hydrodynamischen Kupplung

Die Fluidkupplung besitzt aufgrund ihres Wirkungsprinzips einige Besonderheiten:

- a) Da die Kupplung das Drehmoment über ein Fluid überträgt, benötigt sie einen Schlupf, um ihre Funktion der Drehmomentübertragung zu erfüllen. Dieser wird durch die unterschiedlichen Drehzahlen zwischen Antriebs- und Abtriebswelle geschaffen.
- b) Die Kupplung weist keinen mechanischen Verschleiß auf, da die Kraftübertragung über das Medium Öl stattfindet
- c) Der Motor kann beim Anfahren nicht abgewürgt werden. Dies liegt daran, dass die Leerlaufdrehzahl nicht ausreichend ist, dass das Turbinenrad sich dreht. Würde die Drehzahl weiter absinken, wie es bei einem Schaltwagen passiert, wenn zu schnell ausgekuppelt wird, so würde nur der Ölstrom in der Kupplung geringer werden, der Motor würde jedoch nicht ausgehen. Da es aber kein Kupplungspedal bei Automatikgetrieben gibt, kann diese Situation nicht eintreten.
- d) Durch das gezielte Zu- und Abschalten von Schlupf zwischen Pumpen- und Turbinenrad über ein Steuergerät ist es möglich, Drehmomentstöße und Drehschwingungen des Motors aus dem Antriebsstrang zu filtern. Um diese Aufgabe zu erfüllen, wird ebenfalls das in der Kupplung vorhandene Fluid mit eingebunden.
- e) Außerdem ist die Kupplung, da sie mit Öl gefüllt ist, besonders geräuscharm. Dies liegt daran, dass das Öl einen Teil der Geräusche filtert und dass weniger mechanische Komponenten in der Kupplung verbaut sind, die welche verursachen können.

[3]

4.6.3 Vor- und Nachteile der Hydrodynamischen Kupplung

Tabelle 4-7: Vor- und Nachteile der Hydrodynamischen Kupplung

| Vorteile | Nachteile |
|---|--|
| Die Kupplung arbeitet verschleißfrei. | Sie ist teurer als eine Reibscheibenkupplung. |
| Die Kupplung besitzt einen sehr guten Wirkungsgrad. | Reparaturen im Falle eines Defekts müssen Fachwerkstätten durchführen. |
| Die Kupplung ist sehr geräuscharm. | Die Kupplung ist schwerer als eine Reibscheibenkupplung. |
| Die Schaltautomatik arbeitet kraftstoffsparend. | Die Schaltvorgänge sind weitestgehend vorbestimmt. |
| Durch das Wegfallen des selbstständigen Kuppelns ist das Fahren sehr komfortabel. | - |

5 **Aufbereitung einer am Markt erhältlichen Reibscheibenkupplung als Schulungsmodell**

In diesem Kapitel geht es um den Bau eines Schulungsmodells für die Sachverständigenausbildung. Dem Modell soll als Grundlage eine ausgediente handelsübliche Kupplung dienen, die mittels eines analytischen Hierarchieprozesses im Zusammenhang mit einer Entscheidungsmatrix, aus den in Kapitel 4 vorgestellten Kupplungen, bestimmt wird. Am Ende dieses Kapitels steht das Ziel, eine funktionsfähige Konstruktion darzubieten zu können, die die grundlegenden Aufgaben einer Kupplung im Antriebsstrang darstellen kann.

5.1 **Das Lastenheft**

Das Lastenheft dient zur Festlegung der Anforderungen, die das Modell erfüllen muss. Es soll aber auch eventuelle „Kann“-Attribute enthalten.

Die verschiedensten Aspekte sollen in Betracht gezogen werden, um so das bestmögliche Endergebnis daraus erstellen zu können. Des Weiteren sollen die Unterpunkte des Lastenheftes im analytischen Hierarchieprozess mit eingebunden werden und diesem als Grundlage dienen.

- Geometrie:** Das Modell soll herumreichbar im Schulungsraum sein. Die Größe des fertigen Modells muss es ermöglichen, dass das Vorführobjekt per Hand transportabel ist.
- Kinematik:** Die Kupplung muss sich in Ausrückrichtung bewegen lassen, um die Vorgänge des Ein- und Auskuppelns darstellbar zu machen.
- Kräfte:** Das Modell muss mit Handkräften zu betätigen sein. Eine maximale Betätigungskraft von 50 N darf hierfür nicht überschritten.
- Stoffe:** Die Konstruktion darf aus beliebigen Werkstoffen gefertigt werden. Es ist darauf zu achten, dass die Gesamtmasse von 10 Kilogramm nicht überschritten wird.
- Sicherheit:** Bei der Konstruktion des Modells ist darauf zu achten, dass es ohne Verletzungsgefahr betätigt und herumgereicht werden kann.

- Gebrauch:** Das Vorführobjekt soll nur innerhalb des Schulungsgebäudes genutzt werden. Die klimatischen Voraussetzungen für die Nutzung sind, dass das Modell im Trockenen genutzt wird, trotzdem aber bei Temperaturunterschieden von wenigen Grad Celsius funktioniert. Zur einfachen Bedienung soll eine Kurzanleitung formuliert werden, die dem Modell beigelegt wird. Des Weiteren soll es möglich sein, die beiden Kupplungszustände mittels Arretierung festzusetzen, damit die Hände des Bedieners zur Erprobung frei sind.
- Fertigung:** Die Fertigungsverfahren der einzelnen Komponenten, die benötigt werden, sind frei wählbar. Sie können zugekauft, selbst gefertigt oder in Auftrag gegeben werden. Als Grundlage für die selbstkonstruierten Bauteile gilt in Bezug auf die Toleranzen die DIN ISO 2768-mk.
- Kosten:** Die entstehenden Kosten für den Bau des Schulungsmodells trägt die TÜV NORD Mobilität GmbH & Co.KG. Der finanzielle Spielraum für das Gesamtmodell beläuft sich auf 300 € bis 400 €.
- Termine:** Das Ende des Projektes ist auf den 17.04.2017 terminiert.

5.2 Analytischer Hierarchieprozess und Entscheidungsmatrix

Zur Findung der bestmöglichen Kupplung, die als Grundlage für das Schulungsmodell dienen soll, werden die einzelnen Kupplungssysteme aus Kapitel-4 sich gegenübergestellt. Für diese Art der Lösungsfindung gibt es eine Vielzahl von Verfahren, die angewendet werden können. Da die beschriebenen Kupplungen bereits am Markt erhältlich sind, handelt es sich hierbei nicht um eine Neuentwicklung, sondern lediglich um eine Entscheidung. Diese Entscheidung soll mittels eines analytischen Hierarchieprozesses im Zusammenspiel mit einer Entscheidungsmatrix getroffen werden. Im analytischen Hierarchieprozess werden verschiedene Kategorien gewählt, nach denen die Kupplungen beurteilt werden sollen. Diese Kategorien werden sich dann gegenübergestellt und es wird eine Gewichtung für die jeweilige Paarung festgelegt. Am Ende ergibt sich eine Prozentzahl, die angibt, mit welcher Gewichtung jedes einzelne Kriterium in die folgende Entscheidungsmatrix eingeht. In der Entscheidungsmatrix werden die einzelnen Kupplungen mittels einer Bewertung von eins bis zehn in den jeweiligen

Kategorien beurteilt und dieser Wert wird mit den Prozentangaben multipliziert. So ergeben sich für jede Kupplung fünf Werte, die letztendlich als Summe zusammengezählt werden. Am Ende ergibt sich so eine Gesamtsumme für jede Kupplung, wobei die Kupplung mit dem höchsten Wert die beste Grundlage für das Schulungsmodell bietet.

Tabelle 5-1: Analytischer Hierarchieprozess zur Auswahl der Kupplung

| | Gewicht | Darstellbarkeit | Sicherheit | Betätigung | Handlichkeit | Summe | Anteil in % |
|-----------------|---------|-----------------|------------|------------|--------------|-------|-------------|
| Gewicht | 1,00 | 0,80 | 1,00 | 1,60 | 1,10 | 5,50 | 21,14 |
| Darstellbarkeit | 1,25 | 1,00 | 1,30 | 1,50 | 1,30 | 6,35 | 24,41 |
| Sicherheit | 1,00 | 0,77 | 1,00 | 1,80 | 1,20 | 5,77 | 22,18 |
| Betätigung | 0,63 | 0,67 | 0,56 | 1,00 | 1,20 | 4,05 | 15,56 |
| Handlichkeit | 0,91 | 0,77 | 0,83 | 0,83 | 1,00 | 4,34 | 16,70 |
| | | | | | | 26,01 | 100,00 |

Die Tabelle 5-1 zeigt das Ergebnis des von mir erstellten und bewerteten analytischen Hierarchieprozesses zur Auswahl der Kupplung. Die einzelnen Eigenschaften konnten in einem Wertebereich von 0,1 bis 2,0 bewertet werden. In der letzten Spalte sind die prozentualen Gewichtungen der einzelnen Kategorien angegeben. Um diese zu ermitteln, wurde die Summe einer jeden Kategorie durch die Gesamtsumme aller geteilt und am Ende mit hundert multipliziert, um die Angabe in Prozent zu erhalten. Diese Prozentangaben dienen in der folgenden Entscheidungsmatrix als Grundlage für die Bewertung der unterschiedlichen Kupplungen.

Tabelle 5-2: Entscheidungsmatrix zur Bestimmung der Kupplung

| Gewichtung in % | 21,14 | 24,41 | 22,18 | 15,57 | 16,7 | 100 | |
|----------------------------|---------|-----------------|------------|------------|--------------|--------|----|
| | Gewicht | Darstellbarkeit | Sicherheit | Betätigung | Handlichkeit | Summe | |
| Tellerfederkupplung | 4 | 3 | 7 | 5 | 4 | 23 | |
| Zweischeibenkupplung | 2 | 3 | 7 | 5 | 2 | 19 | |
| Doppelkupplung (trocken) | 4 | 3 | 7 | 4 | 2 | 20 | |
| Doppelkupplung (Nass) | 4 | 1 | 4 | 4 | 2 | 15 | |
| Lamellenkupplung (trocken) | 9 | 8 | 7 | 8 | 9 | 41 | |
| Lamellenkupplung (Nass) | 7 | 1 | 4 | 8 | 7 | 27 | |
| Magnetpulverkupplung | 4 | 1 | 7 | 3 | 2 | 17 | |
| Hydrodynamische Kupplung | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 11 | |
| | | | | | | | |
| Tellerfederkupplung | 84,56 | 73,23 | 155,26 | 77,85 | 66,8 | 457,7 | 3. |
| Zweischeibenkupplung | 42,28 | 73,23 | 155,26 | 77,85 | 33,4 | 382,02 | 5. |
| Doppelkupplung (Trocken) | 84,56 | 73,23 | 155,26 | 62,28 | 33,4 | 408,73 | 4. |
| Doppelkupplung (Nass) | 84,56 | 24,41 | 88,72 | 62,28 | 33,4 | 293,37 | 7. |
| Lamellenkupplung (Trocken) | 190,26 | 195,28 | 155,26 | 124,56 | 150,3 | 815,66 | 1. |
| Lamellenkupplung (Nass) | 147,98 | 24,41 | 88,72 | 124,56 | 116,9 | 502,57 | 2. |
| Magnetpulverkupplung | 84,56 | 24,41 | 155,26 | 46,71 | 33,4 | 344,34 | 6. |
| Hydrodynamische Kupplung | 63,42 | 24,41 | 66,54 | 31,14 | 33,4 | 218,91 | 8. |

Die Tabelle 5-2 zeigt das Ergebnis der von mir erstellen und bewerteten Entscheidungsmatrix zur Bestimmung der bestmöglichen Kupplung als Grundgerüst für das Schulungsmodell. Die Bewertung wurde anhand des bereits über Tabelle 5-1 erklärten Schemas durchgeführt. Hierbei kam heraus, dass die **trockene Lamellenkupplung** von ihren Eigenschaften her die bestmögliche Grundlage für das Schulungsmodell bietet.

5.3 Planung der Abläufe für den Bau des Schulungsmodells

Anhand der in Kapitel 5.2 getroffenen Auswahl soll das Schulungsmodell auf Grundlage einer trockenen Lamellenkupplung erstellt werden. Um eine weitere Gewichtsreduzierung zu erreichen, soll diese aus dem Kraffradsegment kommen, weil hier kleinere Kupplungen gängig sind. Zur Erfüllung der geforderten Kriterien aus dem Lastenheft soll zunächst ein Plan erstellt werden, anhand dessen festgehalten wird, welche Bauteile für das Modell benötigt werden. Dies dient dazu, dass kein zeitlicher Verzug durch eventuelle Bestellungen oder Fremdproduktionen entsteht und der Ablauf dadurch nicht gestört wird. Zur Ideenfindung für die Konstruktion soll ein Morphologischer Kasten genutzt werden, der wie in Kapitel 5.2 mittels analytischem Hierarchieprozess und Entscheidungsmatrix beurteilt wird. In Abbildung 5-1 ist die ausgewählte Motorradkupplung zusammengesetzt abgebildet. Es fehlen allerdings die Druckfedern, Befestigungsschrauben sowie der Druckpilz.



Abbildung 5-1: Grundgerüst für das Schulungsmodell

5.3.1 Der Morphologische Kasten

Zur Ideenfindung für das Modell soll als erstes ein Morphologischer Kasten erstellt werden. Hierfür werden zunächst Hauptgruppen erstellt, zu denen anschließend Unterpunkte gesucht werden. Diese sollten je nach Hauptgruppe allgemein gefasst oder, wenn schon eine Idee besteht, genauer formuliert werden. Anschließend werden aus den gefundenen Begriffen Konzepte erstellt, in denen aus den jeweiligen Hauptgruppen mindestens ein Begriff oder, wenn möglich, auch zwei für ein Konzept genommen werden.

Tabelle 5-3: Morphologischer Kasten für die Ideenfindung

| Kupplungsbetätigung | Lagerung des Modells | Arretierung der Betätigung | Kraftübertragung | Befestigung des Gesamtmodells |
|---------------------|----------------------|----------------------------|------------------|-------------------------------|
| Mechanisch | starre Lagerböcke | Bolzen | Verzahnung | Schrauben |
| Elektrisch | Seile | Magnetisch | Magnetisch | Nieten |
| Hydraulisch | Holzplatte | Schrauben | Verschrauben | Kleben |
| Pneumatisch | Metallplatte | Klemmen | Pressen | Schweißen |
| | Kunststoffplatte | Hydraulikzylinder | Aufschumpfen | Löten |
| | Steinplatte | Vertiefung | Verschweißen | |
| | Hydraulikzylinder | Feder | Löten | |
| | Gummilagerböcke | Elektromotor | | |
| | | | | |
| Legende: | | | | |
| Konzept 1 | Konzept 2 | Konzept 3 | Konzept 4 | |

Mithilfe der Tabelle 5-3 sind vier unterschiedliche Konzepte entstanden, die für die Realisierung des Schulungsmodells denkbar wären. Im Anhang B sind die Skizzen, die zu den jeweiligen Konzepten erstellt wurden, abgelegt.

Nachfolgend werden die Unterpunkte der einzelnen Konzepte aufgezählt:

Konzept 1: Die Betätigung soll mechanisch erfolgen. Die Lagerung soll mittels einer Holzplatte sowie Lagerböcken realisiert werden. Die Arretierung der Betätigung wird mittels Klemmen durchgeführt. Die Kraftübertragung soll über eine Verzahnung stattfinden, und die Befestigung des Gesamtmodells soll mit Schrauben erfolgen.

Konzept 2: Die Betätigung soll elektrisch erfolgen. Die Lagerung soll mittels einer Steinplatte auf Gummiböcken realisiert werden. Die Arretierung wird in diesem Fall über einen Motor durchgeführt. Bei diesem Konzept soll die Kraftübertragung mittels Schweißverbindung stattfinden, das Modell selbst soll auf der Platte aber vernietet werden.

Konzept 3: In dieser Variante wird auf die Hydraulik zur Betätigung gesetzt. Die Lagerung soll auf einer Metallplatte mittels Hydraulikzylindern realisiert werden. Für die Arretierung der Betätigung soll ebenfalls ein Hydraulikzylinder zum Einsatz kommen. Die Kraftübertragung soll mittels magnetischer Anziehung erfolgen, wobei das Gesamtmodell auf die Metallplatte aufgeschweißt wird.

Konzept 4: Bei dem letzten Konzept soll die Betätigung pneumatisch stattfinden. Die Lagerung des Modells soll über Seile erfolgen, die an Stützen befestigt sind, die auf eine Kunststoffplatte montiert werden. Die Arretierung der Betätigung wird mittels eines Bolzens ermöglicht. Zur Kraftübertragung soll eine Welle in der Kupplung aufgeschraubt werden. Die Befestigung des Gesamtmodells soll mittels Klebtechnik erfolgen.

5.3.2 Analytischer Hierarchieprozess zum Morphologischen Kasten

Der analytische Hierarchieprozess zum Morphologischen Kasten aus Kapitel 5.3.1 wird nach demselben Verfahren erarbeitet wie bei der Wahl der Kupplung aus Kapitel 5.2. Dieses Mal wurden die Kategorien Gewicht, Montierbarkeit, Sicherheit, Betätigung, Preis und Design sich gegenübergestellt und in einem Wertebereich von 0,1 bis 2,0 bewertet. Anschließend wurde die Summe einer jeden Kategorie durch die Gesamtsumme aller geteilt und mit hundert multipliziert, um einen Prozentwert für die Gewichtung zu erhalten. Diese Werte dienen wieder als Grundlage für die folgende Entscheidungsmatrix. In Tabelle 5-4 sind die von mir festgelegten Kategorien sowie die dazugehörigen Bewertungen dargestellt.

Tabelle 5-4: Analytischer Hierarchieprozess für die Modellentwicklung

| | Gewicht | Montierbarkeit | Sicherheit | Betätigung | Preis | Design | Summe | Anteil in % |
|----------------|---------|----------------|------------|------------|-------|--------|-------|-------------|
| Gewicht | 1,00 | 1,30 | 0,80 | 1,10 | 1,30 | 1,60 | 7,10 | 20,46 |
| Montierbarkeit | 0,77 | 1,00 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 1,60 | 5,77 | 16,63 |
| Sicherheit | 1,25 | 1,25 | 1,00 | 1,20 | 1,40 | 2,00 | 8,10 | 23,34 |
| Betätigung | 0,91 | 1,25 | 0,83 | 1,00 | 1,20 | 1,80 | 5,19 | 14,96 |
| Preis | 0,77 | 1,25 | 0,71 | 0,83 | 1,00 | 1,50 | 4,57 | 13,16 |
| Design | 0,63 | 0,63 | 0,50 | 0,56 | 0,67 | 1,00 | 3,97 | 11,45 |
| | | | | | | | 34,70 | 100,00 |

Zu sehen ist, dass die Punkte Sicherheit, Gewicht und Montierbarkeit die höchsten prozentualen Anteile erhalten haben. Eine eher untergeordnete Rolle trägt der Punkt Design, da dieser der Funktionalität hinten angestellt ist.

5.3.3 Die Entscheidungsmatrix zum Morphologischen Kasten

Nachfolgend soll die Entscheidung getroffen werden, welches der vier Konzepte die beste Grundlage für den Bau des Schulungsmodells darstellt. Zur Ermittlung soll eine Entscheidungsmatrix genutzt werden, die nach demselben Prinzip funktioniert wie in Kapitel 5.2. Hierbei sollen die einzelnen Konzepte in den jeweiligen Kategorien aus dem analytischen Hierarchieprozess mit einem Zahlensystem von eins bis zehn bewertet werden. Die jeweilige Zahl wird anschließend mit dem Prozentwert der dazugehörigen Kategorie multipliziert. So ergeben sich sechs Werte, die am Ende zusammengezählt werden. Das Konzept mit dem höchsten Ergebnis soll anschließend als Grundlage für das Schulungsmodell genutzt werden.

Tabelle 5-5: Entscheidungsmatrix für die Modellentwicklung

| Gewichtung | 20,46 | 16,63 | 23,34 | 14,96 | 13,16 | 11,45 | 100 | |
|------------|---------|----------------|------------|------------|-------|--------|--------|----|
| | Gewicht | Montierbarkeit | Sicherheit | Betätigung | Preis | Design | Summe | |
| Konzept 1 | 5 | 8 | 8 | 6 | 9 | 6 | 42 | |
| Konzept 2 | 4 | 5 | 5 | 8 | 5 | 4 | 31 | |
| Konzept 3 | 2 | 5 | 5 | 8 | 4 | 5 | 29 | |
| Konzept 4 | 5 | 3 | 7 | 7 | 4 | 5 | 31 | |
| Konzept 1 | 102,3 | 133,04 | 186,72 | 89,76 | 118,4 | 68,7 | 698,96 | 1. |
| Konzept 2 | 81,84 | 83,15 | 116,7 | 119,68 | 65,8 | 45,8 | 512,97 | 3. |
| Konzept 3 | 40,92 | 83,15 | 116,7 | 119,68 | 52,64 | 57,25 | 470,34 | 4. |
| Konzept 4 | 102,3 | 49,89 | 163,38 | 104,72 | 52,64 | 57,25 | 530,18 | 2. |

In der Tabelle 5-5 ist das Ergebnis der von mir bewerteten Entscheidungsmatrix abgebildet. Bei der Bewertung der einzelnen Konzepte kam heraus, dass das Konzept eins die vielversprechendste Grundlage für das Schulungsmodell darstellt.

Im Folgenden sollen die Eigenschaften dieses Konzeptes in die Realität umgesetzt werden. In der Abbildung 5-2 ist das „Siegerkonzept“ dargestellt.

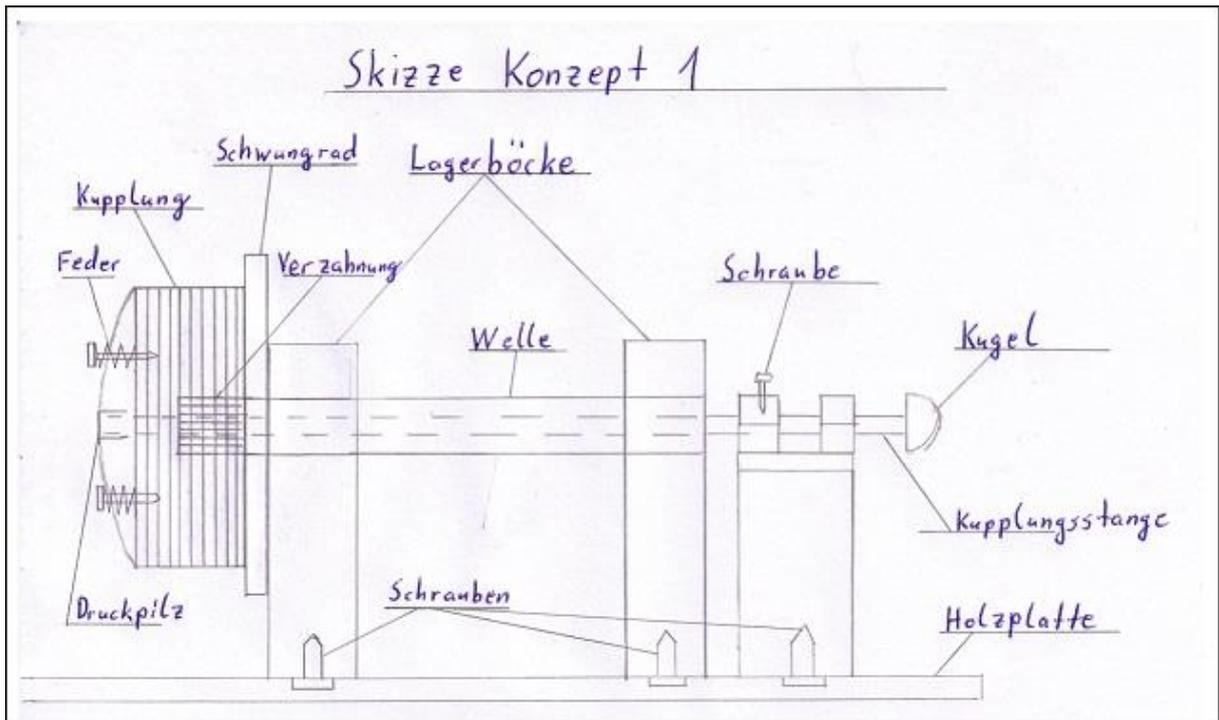


Abbildung 5-2: Skizze des Konzeptes 1

5.3.4 Dokumentation der fehlenden Bauteile und Planung der Arbeitsabläufe

Um die vorhandene Kupplung zu einem Schulungsmodell umzubauen, welche die Funktionen aus dem Lastenheft erfüllen kann, sind im Vorfeld einige Planungsvorgänge erforderlich. Es ist zu überlegen, welche Bauteile benötigt werden, um das ausgewählte Konzept zu realisieren. Des Weiteren muss für den Fall, dass Teile fremdproduziert werden müssen, ein Ablaufplan erstellt werden, wann diese in Auftrag gegeben werden, um das Modell termingerecht fertigen zu können.

Das Grundmodell der Kupplung besteht aus einem Kupplungskorb, der Nabe, den Reib- sowie den Stahllamellen und der Druckplatte. In der Abbildung 5-3 sind diese Komponenten dargestellt. Zur Vereinfachung sind jeweils nur eine Stahl- und eine Reiblamelle abgebildet. Zusätzlich sind bereits eine Druckfeder sowie eine Schraube auf dem Bild enthalten, die für erste Versuche verwendet wurden.



Abbildung 5-3: Bestandteile des Grundmodells

Zu Beginn soll nun dokumentiert werden, welche Bauteile für die Erstellung des Modells noch fehlen. Dieses Vorgehen soll anhand einer Tabelle durchgeführt werden in der gekennzeichnet wird, ob diese Bauteile selbstkonstruiert, in Auftrag gegeben, zugekauft oder selbstgebaut (vorhanden) werden.

Tabelle 5-6: Auflistung der fehlenden Komponenten

| Komponente | selbstkonstruiert | In Auftrag gegeben | zugekauft | selbstgebaut (vorhanden) |
|---|-------------------|--------------------|-----------|--------------------------|
| Druckpilz | | | x | |
| Druckfedern | | | x | |
| Kupplungsfederteller | | | | x |
| Schrauben | | | x | |
| Unterlegscheiben | | | x | |
| Schwungrad | x | x | | |
| Welle (mit Verzahnung) | | | x | |
| Verschraubung für die Welle | | | x | |
| Lagerböcke (Welle) | x | x | | |
| Lagerbock (Betätigung) | x | x | | |
| Adapterplatte | x | | | x |
| Kupplungsstange | | | | x |
| Druckknäuf | | | | x |
| Arretierung und Führung der Kupplungsstange | | | | x |
| Grundplatte | x | | x | |
| Farben | | | x | |
| Schmirgelpapier | | | | x |

Schritt 1: Da die Kupplung ein Gebrauchtteil von einer Fachwerkstatt ist, weist diese schon einige Gebrauchsspuren auf. Daher soll als erster Arbeitsschritt eine Reinigung der einzelnen Komponenten durchgeführt werden. Je nach Bedarf sollen diese anschließend grundiert sowie in geeigneten Farben lackiert werden. Die Stahllamellen sollen in der Farbe Rot, die Reiblamellen in der Farbe Grün kenntlich gemacht werden. Dies dient dazu, am späteren Modell die Vorgänge des Ein- und Auskuppelns besser darstellen zu können.

Schritt 2: Im nachfolgenden Schritt sollen der passende Druckpilz, die Welle sowie die Verschraubung der Welle für die Kupplung zugekauft werden. Um die richtigen Teile auszuwählen, soll dies in Absprache mit einem Fachhändler geschehen. Die Druckfedern für die Kupplung müssen individuell bestimmt werden. Da die Kupplung mit Handkräften zu betätigen sein soll, muss die Stärke der gewählten Federn dieser Betätigungsart angepasst werden, da die originalen Kupplungsfedern eine zu große Druckkraft der Betätigung entgegensetzen.

Schritt 3: Als darauffolgender Arbeitsschritt sollen die selbst zu konstruierenden Teile erstellt werden. Dies ist erst jetzt möglich, da erst durch den Zusammenbau der Welle mit der Kupplung die Höhe bestimmt werden kann, in der sich die Bohrung der Wellenlagerböcke befinden muss. Der Lagerbock für die Betätigung ist ebenfalls von dieser Höhe abhängig. Als letztes muss noch das Schwungrad konstruiert werden, da auch hier der Bohrungsdurchmesser vom Schwungrad dem Durchmesser der Welle entsprechen muss. Die selbstkonstruierten Bauteile sollen nach Beendigung der Konstruktion in einem Fachbetrieb für CNC-Frästechnik sowie bei einem Metallbauer in Auftrag gegeben werden.

Schritt 4: Als Vorletztes ist die Grundplatte zusammen mit den Schrauben sowie Unterlegscheiben käuflich zu erwerben. Die Grundplatte selbst muss zusammen mit der Konstruktion noch bearbeitet werden, um die Schrauben, die sich an der Unterseite des Modells zur Befestigung befinden, nicht aus dem Material herausstehen zu lassen.

Schritt 5: Als letztes soll die Arretierung der Betätigung sowie die Betätigung selbst für den Zusammenbau vorbereitet werden. Da die Komponenten als Gebrauchtteile aus dem Privatgebrauch stammen und die für sie vorgesehene Funktion schon erfüllen, müssen sie zusammen mit der Kupplungsstange lediglich vor dem Gebrauch gereinigt werden.

Schritt 6: Anschließend kann nun der Zusammenbau durchgeführt werden.

5.3.5 Auswahl der Druckfedern

In diesem Abschnitt soll es noch einmal speziell um die Auswahl der passenden Druckfedern für das Schulungsmodell gehen. Diese stellen in Bezug auf die Betätigung eine der wesentlichen Komponenten dar, weil sie die Druckplatte mit der Nabe verbinden und so einen Kraftfluss erst möglich machen. Da die Originalfedern eine sehr hohe Steifigkeit aufweisen und ursprünglich durch den Druck, den ein Hydraulikzylinder auf die Kupplungsstange ausübt, zusammengedrückt werden, sind diese für eine Betätigung per Hand ungeeignet. Grundsätzlich sind für die Wahl der Druckfedern für das Modell vier Eigenschaften von Bedeutung. Hierbei handelt es sich um den Außendurchmesser, den Innendurchmesser, die maximale Druckkraft sowie die Länge der Druckfeder im ungespannten Zustand. Drei dieser Eigenschaften sind bauartbedingt in ihren Parametern eingeschränkt. So darf der Außendurchmesser der Feder nicht größer als 21 mm sein, da sonst die Feder nicht mehr in die Druckplattenöffnung passt. Der Innendurchmesser darf nicht kleiner als 15 mm sein, da sonst der Kupplungsfederteller nicht in die Feder hineinpasst. Außerdem darf die ungespannte Federlänge eine Länge von 25 mm nicht unterschreiten, da sonst die vorgesehene Befestigung mit der Nabe zu lang für die Feder wäre und so keine Vorspannung auf die Druckplatte im unbetätigten Zustand ausgeübt werden kann.

Bei der Suche nach einer entsprechenden Feder, die die geforderten Randbedingungen einhält, kamen bei der Firma Gutekunst + Co.KG zwei Federarten heraus, die in Frage kommen würden. Eine weitere Eingrenzung der beiden Varianten kam durch die maximale Druckkraft der Federn zustande. Die Feder mit der Bezeichnung D-145DG besitzt eine maximale Druckkraft von 4,642 N und eine ungespannte Länge von 31,4 mm. Da sechs Federn auf die Druckplatte wirken, würden hierbei maximal 27,85 N wirken können. Allerdings können die Federn aufgrund der Kupplungsbauart nicht ihre maximale Kraft erreichen, da die Kupplung nach ca. 5 mm Spannweg ein weiteres Zusammendrücken durch ihre Bauart verhindert. Bei diesen Gegebenheiten würden noch 7,08 N auf die Druckplatte wirken. Hierdurch wäre nicht genug Vorspannkraft vorhanden, die Stahl- und Reiblamellen kraftschlüssig zusammen zu drücken und eine Funktion als Schulungsmodell zu gewährleisten.

Die zweite Feder mit der Bezeichnung VD-180Y-01 besitzt eine maximale Spannkraft von 25,5 N und eine Länge von 32 mm. Bei dieser Feder würden maximal 153 N auf die Druckplatte wirken können, wenn alle sechs Federn ihre volle Kraft aufbringen würden. Bei einem Spannweg von 5,6 mm im späteren Modell würden hierbei 37,32 N auf die Druckplatte wirken. Dieser Wert wäre sowohl für die maximale Betätigungskraft aus dem Lastenheft von 50 N als auch für eine kraftschlüssige Verbindung zwischen Stahl- und Reiblamellen ausreichend. In Anhang C sind die Datenblätter zu den beiden Federtypen hinterlegt, wenn der maximale Vorspannweg von 5 mm bei der Feder D-145DG und von 5,6 mm bei der Feder VD-180Y-01 genutzt wird.

Für das Schulungsmodell wurden im Folgenden sechs Federn vom Typ VD-180Y-01 verwendet.

5.4 Konstruktion der fehlenden Bauteile in Siemens NX

In diesem Abschnitt geht es um die Konstruktion der noch fehlenden Bauteile für das Schulungsmodell. Der Tabelle 5-6 aus Kapitel 5.3.4 ist zu entnehmen, dass es sich hierbei um zwei Lagerböcke für das Modell selbst, das Schwungrad sowie um den Lagerbock und die Adapterplatte für die Betätigung handelt. Hinzu kommen noch die Grundplatte sowie eine Hülse für das Schwungrad. Die Konstruktion dieser Komponenten soll in Siemens NX 9 durchgeführt werden. Als Grundeinstellung für dieses Programm sind die Setups des Department Fahrzeugtechnik/Flugzeugbau der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg gewählt worden. In Anhang D sind technischen Zeichnungen, die als Ableitungen aus den jeweiligen Konstruktionen in Siemens NX 9 erstellt worden, hinterlegt.

5.4.1 Anforderungen an die Lagerböcke für die Wellenaufnahme

Für die Aufnahme der Welle sollen speziell zwei Lagerböcke konstruiert werden, die als Stützen für das Gesamtmodell fungieren sollen. Die Randbedingungen für die beiden Stützen sind hierbei durch die Welle definiert. Als Besonderheit ist zu beachten, dass die Welle an den für die Aufnahme vorgesehenen Stellen unterschiedliche Durchmesser ausweist. Um die Durchmesser sowie die Lage der Bohrungen für die Wellenaufnahme definieren zu können, sind die erforderlichen Maße mittels eines Messschiebers manuell ermittelt wurden. Zusätzlich ist hierbei darauf zu achten, dass der Radius des Schwungrades, dieser ist 0,5 mm größer als der des Korbs, mitbeachtet wird, damit das Modell auf den Stützen noch genug Bodenfreiheit zum Drehen garantiert. Eine weitere Besonderheit des linken Lagerbocks aus der Konzeptskizze 1 ist, dass dieser das spätere Schwungrad in Verbindung mit dem Kupplungskorb sowie die Welle selbst gegen axiale Bewegungen fixieren soll. Daher muss die erforderliche Dicke mittels Messung ebenfalls exakt bestimmt werden. Der rechte Lagerbock aus der Konzeptskizze 1 besitzt seinerseits auch einige Besonderheiten, auf die hingewiesen wird. Er dient als Gegenstück für die Wellenfixierung auf der rechten Seite, soll aber auch die Durchführung der Druckstange durch die Welle für die Kupplungsbetätigung ermöglichen. Aufgrund dieser beiden Anforderungen ist es nötig, dass der Lagerbock mit zwei unterschiedlichen Bohrungsdurchmessern und -tiefen ausgeführt wird.

5.4.2 Konstruktion des Schwungrades

Um eine bessere Veranschaulichung des Kraftflusses für das Schulungsmodell zu erzielen, soll hierfür ein Schwungrad (Antriebsrad) konstruiert werden. Im Original handelt es sich hierbei um ein Zahnrad, welches den Primärtrieb für das Kraftrad darstellt. Zur Vereinfachung für das Modell soll dieses Zahnrad als Scheibe aus Aluminium dargestellt werden. Im Original wird das Zahnrad mit dem Kupplungskorb über acht Schrauben verbunden, um eine Übertragung des realen Drehmomentes zu gewährleisten. Bei diesem Schulungsmodell habe ich mich dazu entschieden, diese Schraubverbindung anhand von zwei Gewindebohrungen darzustellen. Diese sollen aber nur zur Erklärung der Originalbefestigung dienen. Die eigentliche Befestigung wird mittels einer Pressverbindung erzielt. Als Grundlage für das Schwungrad dient ein Aluminiumrundprofil mit einem Außendurchmesser von 160 mm, in dessen Mitte sich eine Bohrung von 30 mm Durchmesser befindet. Da die Welle nur einen Durchmesser von 25 mm aufweist, musste zur einwandfreien Führung eine Hülse gedreht werden, die mit dem Rundprofil verpresst wird und so einen Innendurchmesser von 25 mm ermöglichte. Um die Anbindung an den Korb mittels Pressverbindung herzustellen, soll das Aluminiumprofil auf eine Länge von 13 mm abgesägt werden. Anschließend wird die Aluminiumscheibe abgedreht, bis ein Flansch mit einem Durchmesser von 50,5 mm entsteht, der eine Länge von 4 mm besitzt. Dieser Flansch ist nötig, um eine Verpressung von Kupplungskorb und Schwungrad zu ermöglichen, da der Korb eine Rundöffnung von 50,5 mm auf der Rückseite aufweist. Die einzelnen Komponenten werden anschließend mit einer Hydraulikpresse verbunden.

5.4.3 Konstruktion des Lagerbocks für die Betätigung

Als Grundlage für die Betätigung soll ein Lagerbock aus Aluminium konstruiert werden, der die Adapterplatte mit der Druckstangenführung trägt und mit der Grundplatte verschraubt wird. Für die Befestigung auf der Grundplatte sind vier Löcher mit einem M 8 Gewinde vorgesehen. Zur Aufnahme der Adapterplatte sollen ebenfalls zwei Löcher mit einem M 8 Gewinde auf der Oberseite des Lagerbocks konstruiert werden. Die erforderliche Höhe des Lagers wurde mittels Rechnung ermittelt, indem die Gesamthöhe bis zur Wellenmitte minus die Höhe der Adapterplatte und der Druckstangenführung gerechnet wurden. So ergab sich ein

Maß von 67 mm. Die verbleibenden Maße wurden anhand der Außenmasse der Adapterplatte angepasst. Aus optischen Gründen ist die Form der Stütze ähnlich aufgebaut, wie die Kontur der Stützen für die Wellenaufnahme.

5.4.4 Konstruktion der Adapterplatte

Die Adapterplatte soll als Bindeglied zwischen dem Lagerbock, der Betätigung und der Führung der Druckstange dienen. Als Grundlage hierfür dient ein Aluminium-Rechteckprofil mit den Außenmaßen 91 mm Länge, 40 mm Breite und 20 mm Stärke. Zur Befestigung auf dem Lagerbock sollen zwei Bohrungen erzeugt werden, die es ermöglichen, zwei Schrauben mit Innensechskante in der Adapterplatte zu versenken, ohne dass diese aus dem Material herauschauen. Zur Aufnahme der beiden Druckstangenführungen müssen aus der Oberseite der Adapterplatte vier M 6 Gewindelöcher erzeugt werden, die ein Verschrauben der Bauteile miteinander ermöglichen und so eine starre Verbindung schaffen.

5.4.5 Konstruktion der Grundplatte

Die Grundplatte dient als Grundgerüst für das gesamte Schulungsmodell. Ihre Außenmasse betragen in der Länge 50 mm, in der Breite 30 mm und in der Stärke 16 mm. Auf ihr werden alle Lagerböcke aufgebracht und von der Unterseite mittels Sechskantschrauben sowie Unterlegscheiben befestigt. Um ein Herausstehen der Schrauben-Scheibenverbindung an der Unterseite zu verhindern, sollen zu diesem Zweck acht Senkungen mit einem Durchmesser von 20 mm und einer Tiefe von 8 mm im Material erfolgen. Dies dient dazu, dass die Bediener sich nicht an den Schrauben beim Herumreichen verletzen, und dass das Schulungsmodell auf einem Tisch abgestellt werden kann, ohne dass auf diesem beispielsweise Kratzer durch Schiebevorgänge entstehen. Um ein besseres Greifen des Gesamtmodells zu erreichen, sollen zusätzlich noch sechs Plastikfüße an der Unterseite des Modells befestigt werden.

5.5 Der Zusammenbau des Schulungsmodells

Nach der Fertigung der selbstkonstruierten Komponenten in Fachfirmen sollen diese nachfolgend mit den übrigen Bauteilen zusammengesetzt werden. Als erstes soll der linke Lagerbock auf die Welle aufgebracht werden. Anschließend soll das Schwungrad mit dem Kupplungskorb und die Nabe auf die Welle aufgesetzt und mittels der Verschraubung verbunden werden. Im nachfolgenden Schritt sind die Lamellen im Wechsel, beginnend mit einer Stahllamelle, auf die Nabe aufzusetzen und mit der Druckplatte in Verbindung mit den dazugehörigen Federn, Federtellern und Schrauben zu befestigen. Im darauffolgenden Schritt kann der rechte Lagerbock auf die Welle aufgesetzt werden. Nun wird das Gesamtkonstrukt mittig auf die Grundplatte aufgesetzt und die Gewindelöcher der Stützen auf dieser angezeichnet. Als nächstes werden die Stütze für die Betätigung, die Adapterplatte sowie die Druckstangenführung miteinander verschraubt und ebenfalls mittig hinter dem rechten Lagerbock auf die Grundplatte aufgesetzt. Zur idealen Bestimmung der Position soll nachfolgend die Druckstange in das Modell eingeschoben werden. Zuvor wurde auf deren Ende der Druckknopf montiert. Anschließend werden auch die vier Gewindelöcher der Betätigungsstütze auf der Grundplatte gekennzeichnet. Folgend wird das Modell wieder von der Platte genommen und die acht angezeichneten Löcher von der Oberseite mit einem 8,5 mm Holzbohrer gebohrt. Im Nachgang werden diese Löcher von der Unterseite auf eine Tiefe von 8 mm mit einem Forstnerbohrer auf 20 mm Durchmesser vergrößert. Im nächsten Schritt werden die Plastikfüße in die Unterseite der Grundplatte eingeschlagen und diese wird anschließend wieder umgedreht. Als letztes werden nun die Lagerböcke von der Unterseite mit den Schrauben und Unterlegscheiben auf der Grundplatte befestigt und anschließend die Druckstange wieder in das Modell eingeschoben.

Aus Sicherheitsgründen sind die Kanten der Stützen sowie des Schwungrades maschinell direkt beim Fräs-/Drehvorgang entgratet wurden. Des Weiteren sind alle Schrauben sowie der Druckknopf, die sich am Schulungsmodell befinden, mit Schraubensicherungspaste eingesetzt und so gegen ein Herausdrehen per Hand gesichert. Um ein Klemmen der Finger, insbesondere zwischen der Druckplatte und den Lamellen, zu verhindern, ist der Ausrückweg der Kupplung so begrenzt, dass die

Funktion des Ein- und Auskuppelns dargestellt werden kann, aber keine Verletzungsgefahr für den Bediener beim Erproben besteht.

In der Abbildung 5-4 ist das fertige Schulungsmodell mit einigen wichtigen Bezeichnungen aufgeführt.

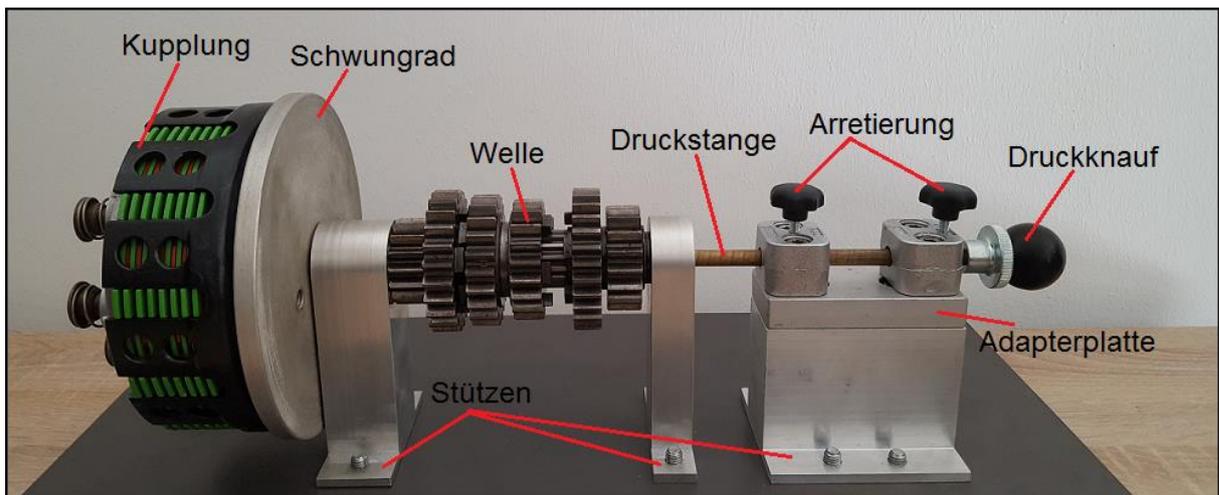


Abbildung 5-4: Fertiges Schulungsmodell

Nachfolgend soll eine Berechnung anhand der Formeln aus Kapitel 4.2.3 erstellt werden, die überschlägig angibt, welches Drehmoment die im Schulungsmodell verbaute Kupplung mithilfe der gewählten Druckfedern übertragen könnte. Als Anpresskraft F_N wird der ermittelte Wert der Druckfedern aus Kapitel 5.3.5 mit 37,32 N verwendet. Die geometrischen Abmaße der Reibbeläge sind mittels Messung erfasst worden und der Reibwert von 0,3 wurde festgelegt. Als Anzahl der Kupplungsscheiben wurden acht ermittelt.

Gegeben: $D = 13,7 \text{ cm}$; $d = 11,6 \text{ cm}$; $F_N = 37,32 \text{ N}$; $\mu_H = 0,3$; $z = 8$

Tabelle 5-7: Berechnung des maximal übertragbaren Drehmoments

| Formeln | trockene Lamellenkupplung |
|-----------------------------|---------------------------|
| $F_R = F_N \cdot \mu_H$ | 11,20 N |
| $F_K = 2 \cdot F_R \cdot z$ | 179,14 N |
| $r_m = \frac{D + d}{4}$ | 6,33 cm |
| $M_K = F_K \cdot r_m$ | 1 133,06 Ncm = 11,33 Nm |

[4]

Bei der Berechnung des maximal übertragbaren Drehmoments am Schulungsmodell ergab sich ein Wert von 11,33 Nm. Für die Größe des ermittelten Wertes war maßgeblich die niedrige Anpresskraft verantwortlich, verursacht durch die schwachen Druckfedern.

Bei einer Ducati 900 SS leistet die baugleiche Kupplung ca. 83 Nm bei 6400 Umdrehungen pro Minute. [19]

5.6 Verwendung des Schulungsmodells in der Praxis

Das in Kapitel 5.5 zusammengesetzte Schulungsmodell soll in seiner Funktionsweise in diesem Kapitel erläutert werden. Es soll aufgezeigt werden, wie die Vorgänge des Ein- und Auskuppelns funktionieren und welche Handgriffe dafür notwendig sind. In der Abbildung 5-5 ist das Modell im eingekuppelten Zustand dargestellt.

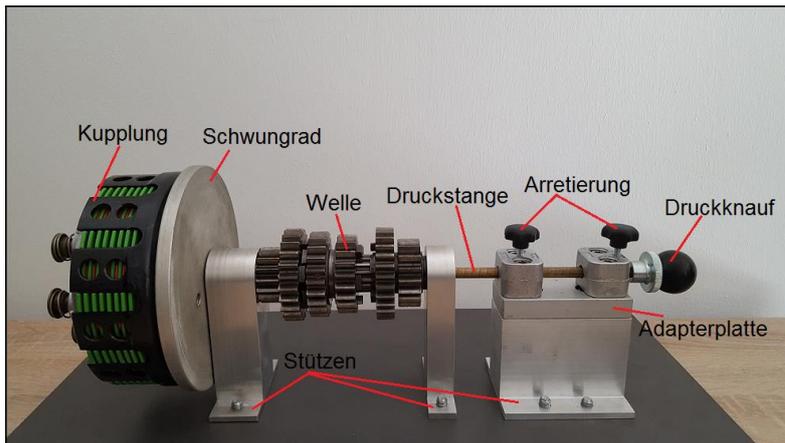


Abbildung 5-5: Kupplung geschlossen

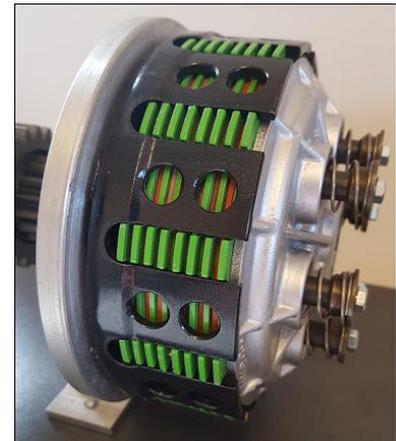


Abbildung 5-6: Detailansicht Eingekuppelter Zustand

In der Konstellation aus Abbildung 5-5 würde das Drehmoment vom Motor auf das Schwungrad übertragen und von hier an den Kupplungskorb weitergeleitet werden. Da im jetzigen Zustand die Druckfedern dafür sorgen, dass die Druckplatte auf die Lamellen drückt und diese reibschlüssig verbindet, würde das Drehmoment vom Kupplungskorb über die grünen Lamellen auf die roten Lamellen übertragen werden. Die roten Lamellen sind mit einer Innenverzahnung ausgeführt, die in die Verzahnung der innenliegenden Nabe eingreifen. So kann das Drehmoment letztendlich von der Nabe auf die Getriebeeingangswelle übertragen werden, da diese beiden Komponenten fest verschraubt sind.

In der Abbildung 5-6 ist die Kupplung im geschlossenen Zustand noch einmal vergrößert dargestellt, um die einzelnen beschriebenen Komponenten, die an der Drehmomentübertragung beteiligt sind, besser sehen zu können.

Anhand der Abbildung 5-5 soll nun folgend der ausgekuppelte Zustand und dessen Entstehung erklärt werden. Durch das Drücken der Betätigungsvorrichtung nach links (gesehen von der Perspektive der Abbildung 5-5 aus) wird die Druckstange durch die hohlgebohrte Getriebeeingangswelle geschoben und sorgt über den Druckpilz dafür, dass die Druckplatte mit den Druckfedern zurückgedrückt wird. Als nächstes muss eine der beiden Schrauben, die zur Arretierung vorgesehen sind, festgedreht werden. Dies hat zur Folge, dass die Druckstange sich nicht mehr in ihre Ursprungslage zurückbewegt, sondern in der eben herbeigeführten verbleibt. Durch den Wegfall des Anpressdrucks, verursacht durch das Anheben der Druckplatte, werden die Lamellen nicht mehr kraftschlüssig zusammengedrückt, und das Drehmoment kann nicht mehr durch Reibung von den grünen auf die roten Lamellen übertragen werden. Dies hat zur Folge, dass kein Drehmoment an der Getriebeeingangswelle mehr anliegt. Die Kupplung ist in diesem Moment ausgekuppelt. Der Bediener kann nun das Schwungrad und die Getriebeeingangswelle getrennt voneinander drehen. Für den Fall, dass wieder der eingekuppelte Zustand erreicht werden soll, muss lediglich die Schraube für die Arretierung gelöst werden. Dies hat zur Folge, dass die Druckplatte die Lamellen wieder reibschlüssig verbindet und erneut einen Kraftfluss zwischen Motor und Getriebe erstellt.

In der Abbildung 5-7 ist die Kupplung im ausgekuppelten Zustand abgebildet. Hier ist sehr gut ersichtlich, dass zwischen den Lamellen ein Luftspalt im ausgekuppelten Zustand besteht und so keine Reibkräfte zwischen den Innen- und Außenlamellen wirken können.

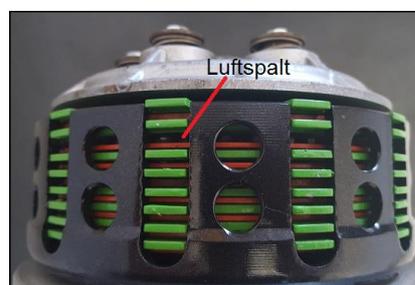


Abbildung 5-7: Schulungsmodell ausgekuppelt

Im Anhang E ist eine kurze Gebrauchsanweisung sowie eine Erklärung des Kraftflusses im eingekuppelten Zustand hinterlegt. Beide Erläuterungen werden ebenfalls in laminiertes Form dem Schulungsmodell beigelegt.

6 Fazit

Im ersten Abschnitt dieses Kapitels soll eine kurze Zusammenfassung über die Erstellung dieser Arbeit verfasst werden. Darauf folgend soll ein Ausblick auf eventuelle Erweiterungen oder Optimierungen des fertigen Schulungsmodells formuliert werden.

6.1 Zusammenfassung

Ziel dieser Bachelorthesis war die Erstellung eines Schulungsmodells einer trockenen Reibscheibenkupplung für die Sachverständigenausbildung der TÜV NORD Mobilität GmbH & Co.KG. Daher wurden zunächst grundlegende Informationen über die Reibscheibenkupplung gesammelt. Im Anschluss hieran wurden die gängigsten am Markt erhältlichen Kupplungen recherchiert und nachfolgend miteinander verglichen, um die optimalste Basis für das Schulungsmodell zu ermitteln. Anhand dieser Grundlage wurde Konzepte erstellt, die zur Realisierung der im Lastenheft niedergeschriebenen Anforderungen denkbar waren und anschließend mithilfe eines analytischen Hierarchieprozesses sowie einer Entscheidungsmatrix von mir beurteilt. Nachfolgend wurde zusammengetragen, welche Komponenten für die Erstellung des Modells notwendig sind und wie diese erworben werden sollten. Als letzte Schritte wurden die zu konstruierenden Bauteile entworfen, produziert und im Nachgang mit den übrigen Komponenten zum fertigen Modell zusammengesetzt.

Aus Gründen der einfachen Bedienbarkeit wurde abschließend noch eine Kurzanleitung formuliert sowie der Verlauf des Kraftflusses separat dokumentiert. Beide Schriftstücke wurden dem Modell in laminiertes Form beigelegt.

6.2 Ausblick

Das fertige Schulungsmodell bietet die Möglichkeit, die Vorgänge des Ein- und Auskuppelns einer Motorradkupplung darzustellen. Da als Aufnahme für die Kupplung die Original Getriebeeingangswelle verwendet wurde, wäre es möglich, den Antriebsstrang um die Getriebeausgangswelle sowie die Schaltklauen zu erweitern und so zusätzlich zu den Kupplungsvorgängen die einzelnen Schaltvorgänge in der Realität darzustellen.

Eine weitere Möglichkeit wäre, die manuelle Betätigung durch eine elektrische oder hydraulische Steuerung zu ersetzen und so eine noch einfachere Bedienung zu erzielen. Hierdurch wäre es auch denkbar, dass die Drehung der Kupplung mittels eines Elektromotors herbeigeführt wird, und so die Unterschiede der sich bewegenden Komponenten im ein- und ausgekuppelten Zustand noch besser sichtbar werden.

Ebenso wäre es vorstellbar, aus Gründen der Gewichtsoptimierung, die einzelnen Modellkomponenten, insbesondere die Lagerböcke, mithilfe der Finite-Elemente-Berechnung zu analysieren und zu optimieren. Im selben Zug wäre es in diesem Zusammenhang denkbar, die Bauteile der Kupplung mittels additive Fertigung (3D- Druck) zu erzeugen und so eine weitere Gewichtsreduzierung zu erreichen.

Literaturverzeichnis

- [1] **Abele, C., Haring, J.:** URL: http://www.stufenlosgetriebe.de/Stufenlosgetriebe.de/Doppelkupplungsgetriebe/Eintrage/2015/2/3_2_Die_Doppelkupplung.html [Aufgerufen am: 09.02.2017]
- [2] **Dittrich, O., Schumann, R.** *Anwendung der Antriebstechnik Band 2: Kupplungen.* Mainz: Otto Krausskopf-Verlag GmbH, 1974.
- [3] **Fischer, Richard, et al.** *Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik, Auflage 28.* Haan-Gruiten: Europa-Lehrmittel,Nourney,Vollmer GmbH & Co. KG, 2004
- [4] **Fischer, Richard, et al.** *Tabellenbuch Kraftfahrzeugtechnik, Auflage 15.* Haan-Gruiten: Europa-Lehrmittel,Nourney,Vollmer GmbH & Co. KG, 2005
- [5] **Gutekunst + Co.KG:** URL: https://www.federnshop.com/de/datenblatt/gk-federnshop_druckfedern_d-145dg.pdf?pathforce=1&s1=0,100&f1=0,023&l1=31,3&s2=5,100&f2=1,183&l2=26,3 [Aufgerufen am: 27.03.2017]
- [6] **Gutekunst + Co.KG:** URL: https://www.federnshop.com/de/datenblatt/gk-federnshop_druckfedern_vd-180y-01.pdf?pathforce=1&s1=0,100&f1=0,109&l1=31,9&s2=5,700&f2=6,219&l2=26,3 [Aufgerufen am: 27.03.2017]
- [7] **Hege, 2011:** URL: <http://www.hege.ch/CVT/TrendCVT.gif> [Aufgerufen am: 15.02.2017]
- [8] **Kfz-tech:** URL: <http://www.kfz-tech.de/Biblio/Kupplung/Doppelkupplung.htm> [Aufgerufen am: 09.02.2017]
- [9] **Kfz-tech:** URL: <http://www.kfz-tech.de/Programme/GGBild.htm?Bilder/Kfz-Technik/KupplungWandler/Drehmomentwandler04.jpg> [Aufgerufen am: 20.02.2017]
- [10] **Kfz-tech:** URL: <http://www.kfz-tech.de/Programme/GGBild.htm?Bilder/Kfz-Technik/KupplungWandler/ZweiSchKupplung02.jpg> [Aufgerufen am: 07.02.2017]
- [11] **LuK Lamellen- und Kupplungsbau GmbH** *Technischer Lehrgang Kupplungen.* Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 1992.
- [12] **Schaeffler Technologies AG & Co. KG, 2017:** URL: http://www.ina.de/content.ina.de/de/branches/automotive_division/transmission_systems/products_transmission_systems/double_clutch_automated_transmissions/double_clutch_automated_transmissions.jsp [Aufgerufen am: 09.02.2017]

- [13] **Schalitz, A.:** Kupplungs-Atlas: Bauarten und Auslegung von Kupplungen und Bremsen, Auflage 4. Ludwigsburg/Württ.: A. G. T. – Verlag Georg Thum, 1975
- [14] **Schlecht, B.:** Maschinenelemente 1: Festigkeit, Wellen, Verbindungen, Federn, Kupplungen. München: Pearson Studium, 2007
- [15] **STT-Turbotechnik, 2017:** URL: <http://www.stt-turbotechnik.de/Getriebe.htm>
[Aufgerufen am: 09.02.2017]
- [16] **THEPRA®- S+B Systemtechnik GmbH & Co. KG:**
URL: <http://www.thepra.de/dry-duplex-clutch.html> [Aufgerufen am: 09.02.2017]
- [17] **TÜV NORD GROUP:** URL: <https://www.tuev-nord-group.com/de/unternehmen/zahlen-daten-fakten/> [Aufgerufen am: 18. 01 2017]
- [18] **Wikipedia Doppelkupplungsgetriebe, 2017:** URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Doppelkupplungsgetriebe> [Aufgerufen am: 09.02.2017]
- [19] **Wikipedia Ducati 900 SS, 2016:** URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Ducati_900SS [Aufgerufen am: 22.03.2017]
- [20] **Wikipedia Einscheibentrockenkupplung, 2016:** URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Einscheibentrockenkupplung> [Aufgerufen am: 30.01.2017]
- [21] **YouTube, LLC, 2017:** URL: <https://www.youtube.com/watch?v=49ufuve2Z0I>
[Aufgerufen am: 09.02.2017]

Anhang A: Tellerfedern und Torsionsdämpfern der Firma LuK

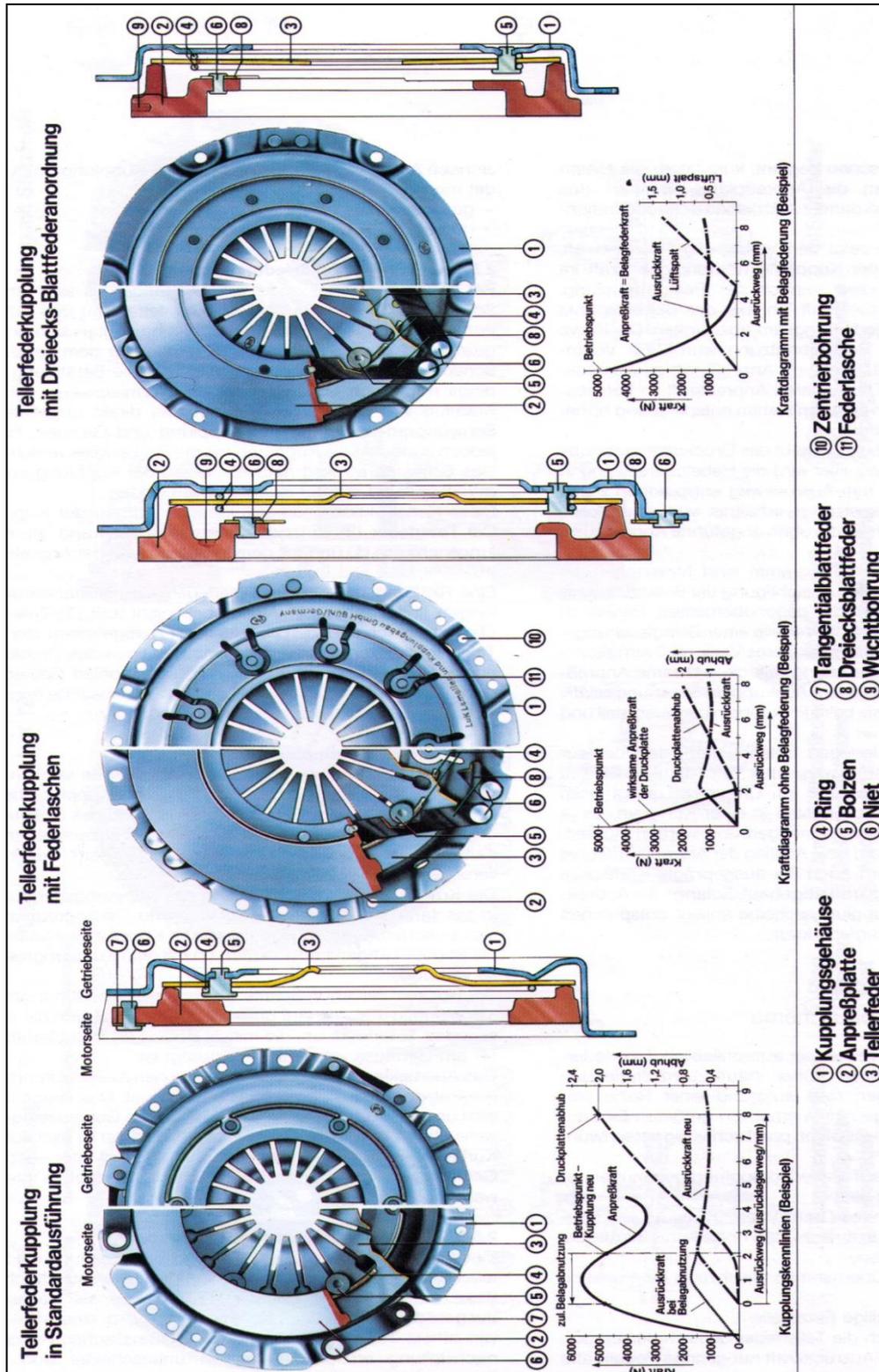


Abbildung A-1: Tellerfedern der Firma LuK Teil 1 [11]

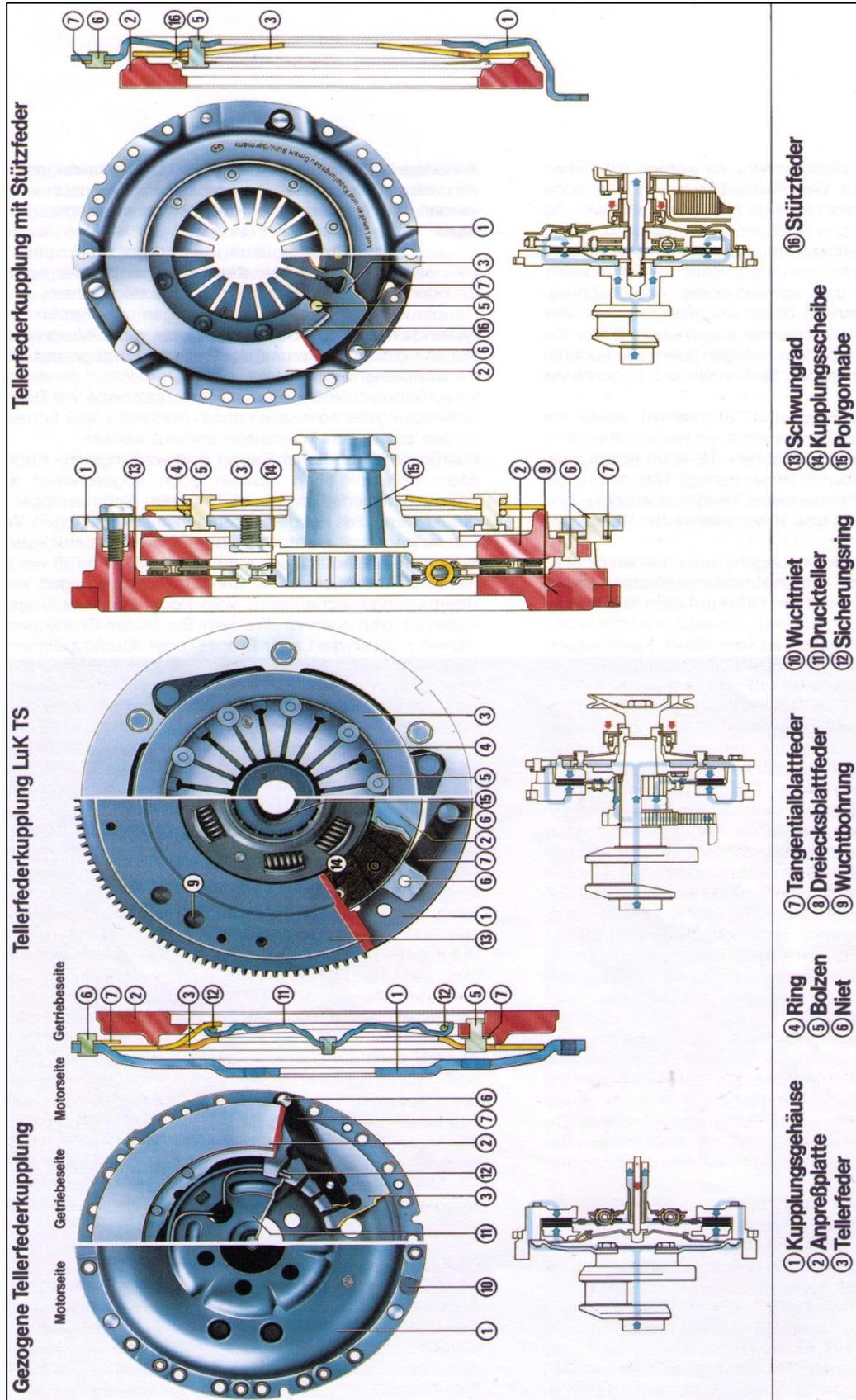


Abbildung A-2: Tellerfedern der Firma Luk Teil 2 [11]

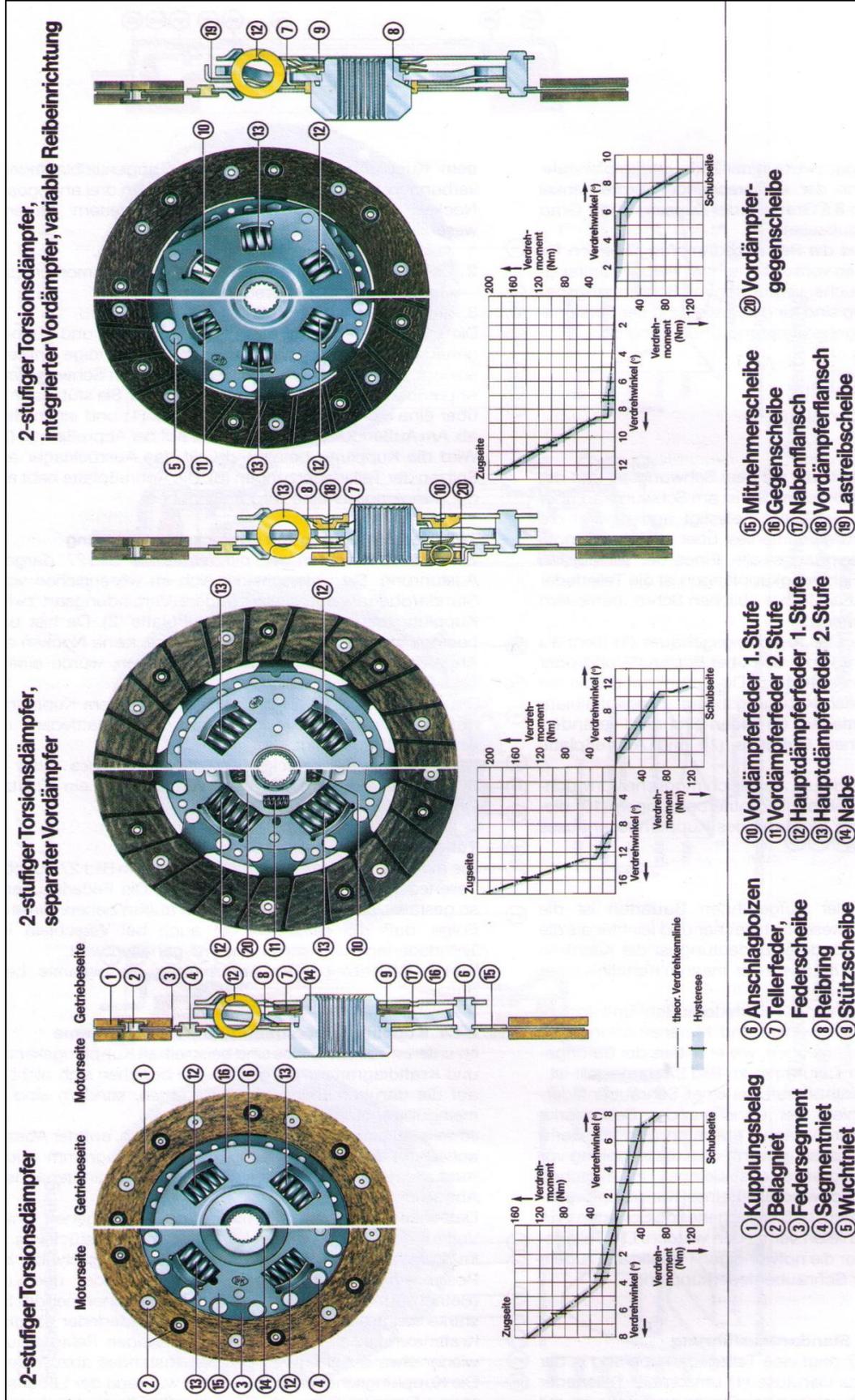


Abbildung A-3: Torsionsdämpfer der Firma LuK [11]

Anhang B: Konzeptskizzen

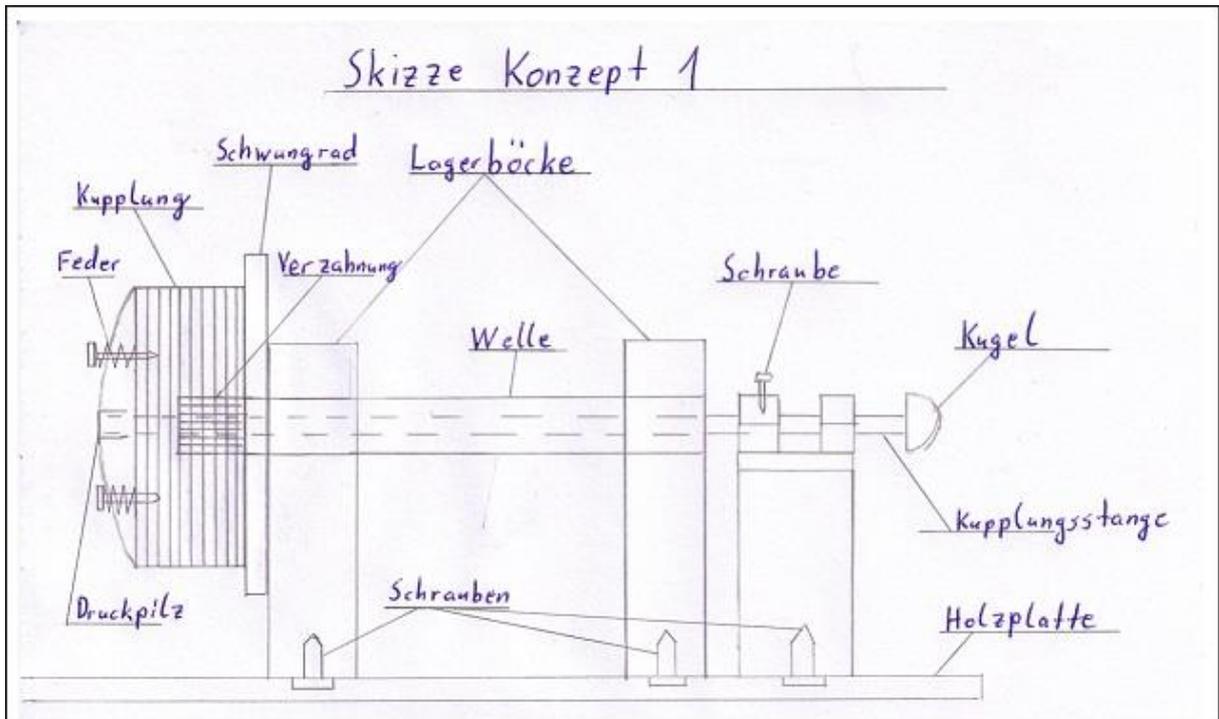


Abbildung B-1: Skizze Konzept 1

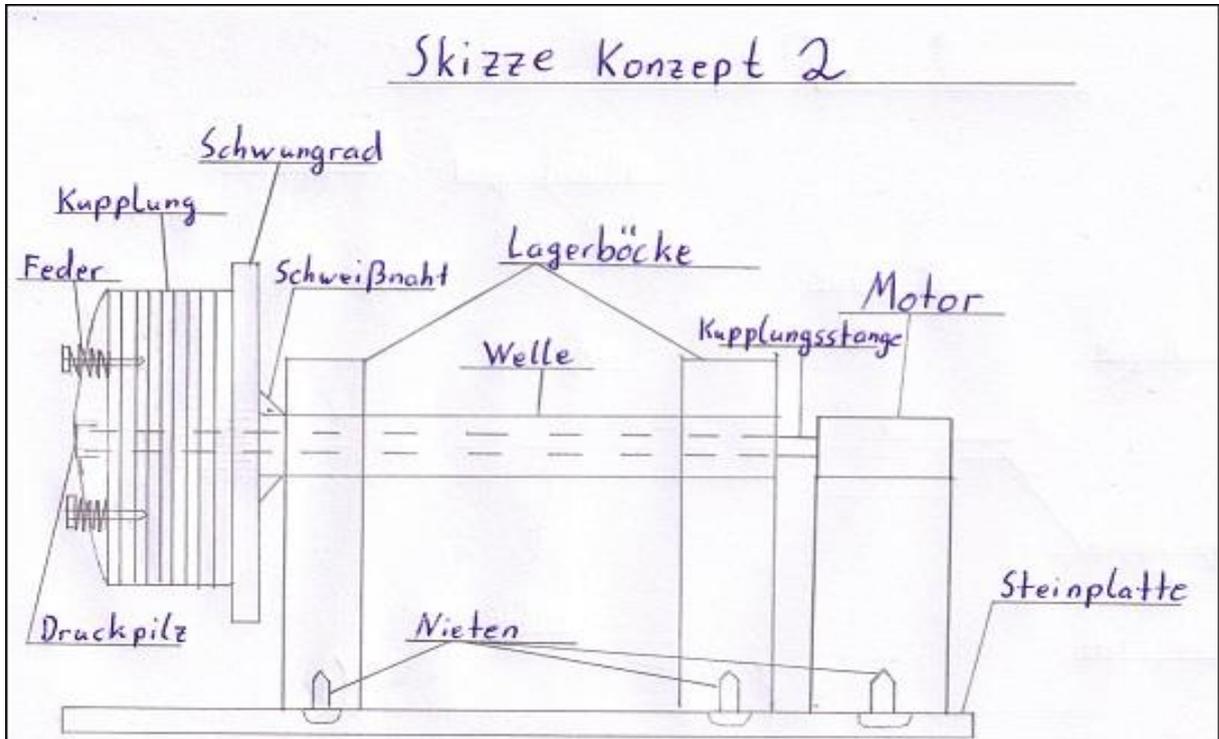


Abbildung B-2: Skizze Konzept 2

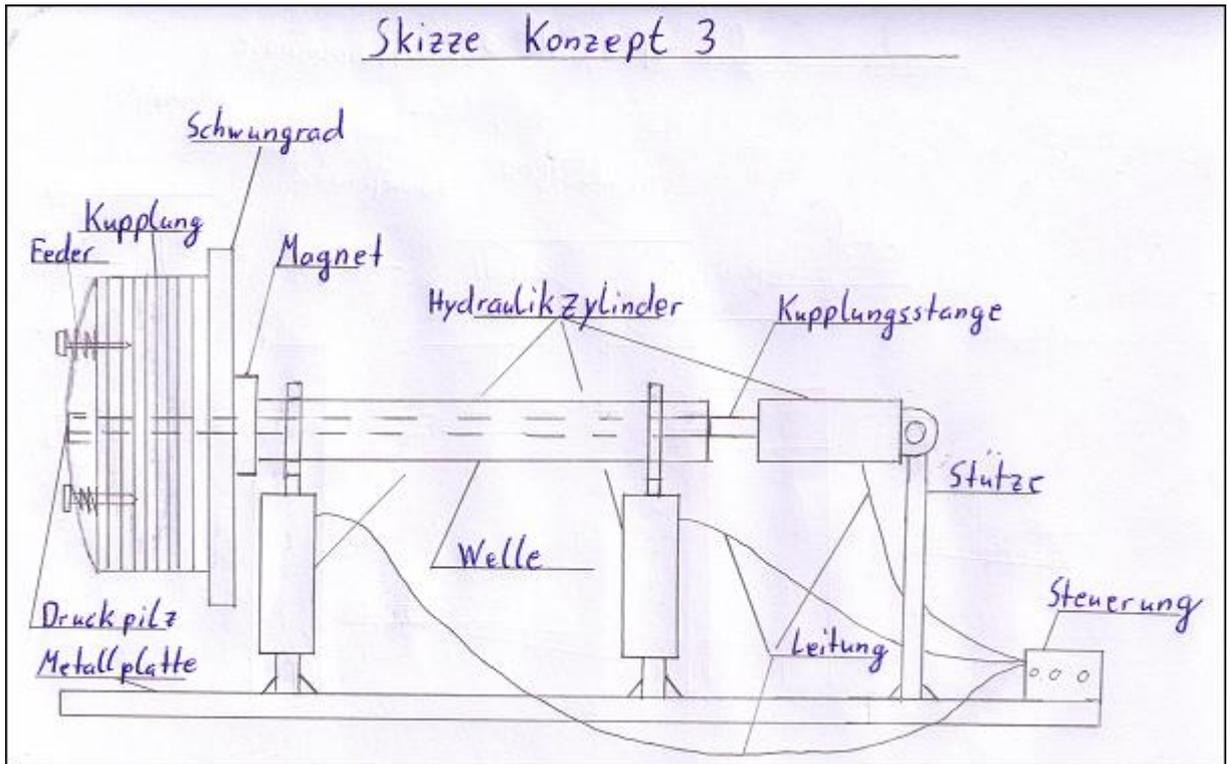


Abbildung B-3: Skizze Konzept 3

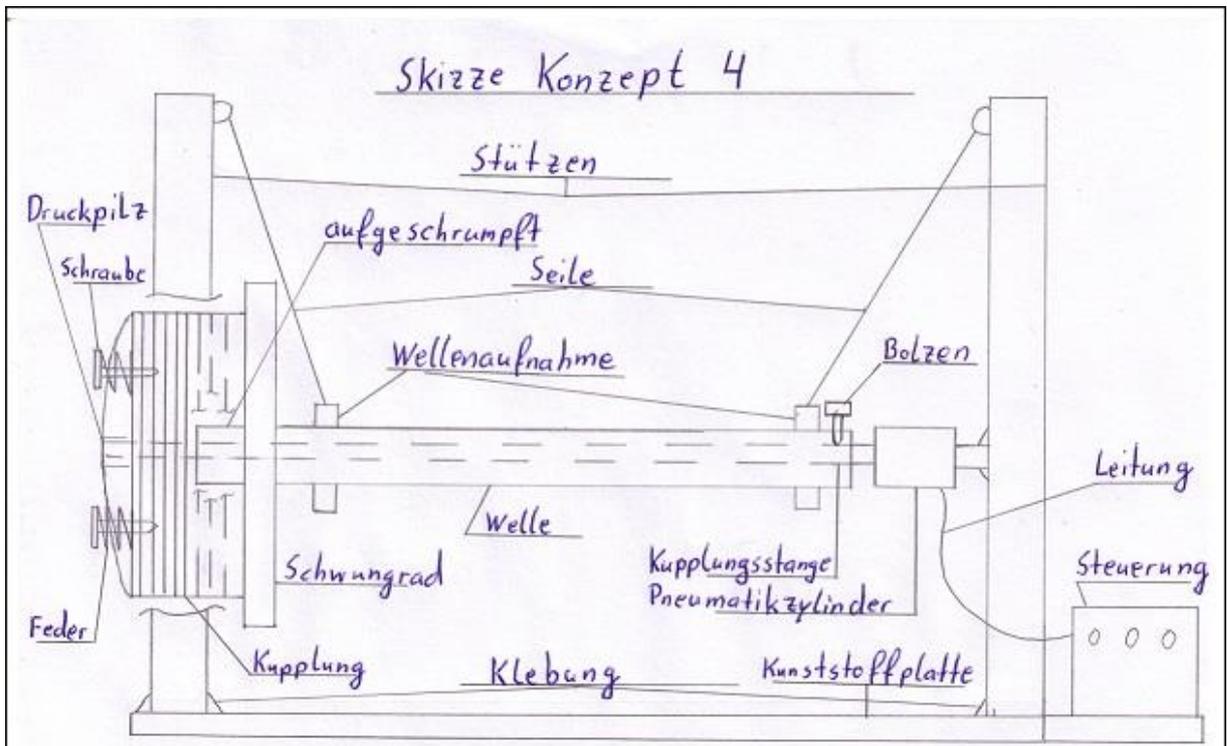


Abbildung B-4: Skizze Konzept 4

Anhang C: Datenblätter der Federn der Firma Gutekunst

Datenblatt Druckfeder : VD-180Y-01
GUTEKUNST FEDERN

| | | | | | | | |
|-------|-------------------------------|-------|---------------------------------|----------------------------|------|-------------------------------|---------|
| d mm | Drahtdurchmesser | Fn N | Höchstkraft der Feder | nt | St. | Anzahl der Gesamtwindungen | 03.2017 |
| D mm | Mittlerer Windungsdurchmesser | Fc N | Theo. Federkraft bei Blocklänge | R | N/mm | Federhärte | |
| Dd mm | Dorndurchmesser | L0 mm | Unge-spannte Länge der Feder | S | mm | Steigung der Federn | |
| De mm | Äußerer Windungsdurchmesser | L1 mm | Länge der Feder vorgespannt | s1 | mm | Strecke der Feder vorgespannt | |
| Dh mm | Hülsendurchmesser | L2 mm | Länge der Feder gespannt | s2 | mm | Strecke der Feder gespannt | |
| e1 mm | Abweichung von Mantellinie | Lk mm | Knicklänge | sh | mm | Arbeitsweg (Hub) | |
| e2 mm | Abweichung von Parallelität | Ln mm | Kleinste Länge der Feder | sn | mm | Grösste Strecke der Feder | |
| F1 N | Kraft der Feder vorgespannt | Lc mm | Blocklänge | Gewicht | g | Gewicht der einzelnen Feder | |
| F2 N | Kraft der Feder gespannt | n | St. | Anzahl federnden Windungen | | | |

* Die Werte unter dynamischer Belastung sind nur mit einer durch Kugelstrahlen verfestigten Oberfläche erreichbar !

| | |
|-------------------------------------|---|
| 1 Windungsrichtung | <input type="checkbox"/> links <input checked="" type="checkbox"/> rechts |
| 2 Dynamische Beanspruchung * | Fndyn 24,54 Fndtol 2,86 Lndyn 9,52 shdyn 12,44 |
| 3 Arbeitsweg sh | mm |
| 4 Lastspielzahl N | |
| 5 Lastspielfrequenz n | / |
| 6 Arbeitstemperatur | °C |

| | |
|---|--|
| 7 Führung und Lagerung DIN EN 13906-1 | <input type="checkbox"/> Dorn <input type="checkbox"/> Hülse |
| Knicklänge Lk bei Lagerungsbeiwert v=0,5 / Bild 5 | 0,00 mm |
| 8 Werkstoff | EN 10270-3-1.4310 |
| 9 Draht- oder Staboberfläche | <input checked="" type="checkbox"/> gezogen <input type="checkbox"/> gewalzt <input type="checkbox"/> spanend bearbeitet |
| 10 Federn entgratet | <input type="checkbox"/> innen <input type="checkbox"/> außen |
| 11 Oberflächenschutz | <input type="checkbox"/> kugelgestrahlt |

| 12 Toleranzen nach DIN EN 15800 | <table border="1" style="font-size: 6px;"> <thead> <tr> <th>Gütegrad</th> <th>De, Di, D</th> <th>L0</th> <th>F1, F2</th> <th>e1, e2</th> <th>Drahtstärke d nach DIN 2076</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table> | Gütegrad | De, Di, D | L0 | F1, F2 | e1, e2 | Drahtstärke d nach DIN 2076 | 1 | <input type="checkbox"/> | 2 | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 | <input type="checkbox"/> |
|--|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------|-----------------------------|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Gütegrad | De, Di, D | L0 | F1, F2 | e1, e2 | Drahtstärke d nach DIN 2076 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 Fertigungsausgleich | durch | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Eine Federkraft mit zugehöriger Länge | L0 <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Eine Federkraft mit zugehöriger Länge und L0 | n, d <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zwei Federkräfte mit zugehörigen Längen | L0, n, d <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 14 Federn setzen | Alle Federn, die nach ihrer Baugröße zum Setzverhalten neigen, sind vorgesetzt. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---|---------------|-------------------|---|----------|---|----------|----|----------|----|----------|----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|
| Staffelpreise | <table border="1" style="font-size: 6px;"> <thead> <tr> <th>Mengenstaffel</th> <th>Einzelpreis [EUR]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>2,7900 €</td></tr> <tr><td>7</td><td>1,9300 €</td></tr> <tr><td>17</td><td>1,0000 €</td></tr> <tr><td>37</td><td>0,6700 €</td></tr> <tr><td>75</td><td>0,5000 €</td></tr> <tr><td>125</td><td>0,4044 €</td></tr> <tr><td>175</td><td>0,3601 €</td></tr> <tr><td>250</td><td>0,3157 €</td></tr> <tr><td>350</td><td>0,2715 €</td></tr> <tr><td>450</td><td>0,2326 €</td></tr> </tbody> </table> | Mengenstaffel | Einzelpreis [EUR] | 1 | 2,7900 € | 7 | 1,9300 € | 17 | 1,0000 € | 37 | 0,6700 € | 75 | 0,5000 € | 125 | 0,4044 € | 175 | 0,3601 € | 250 | 0,3157 € | 350 | 0,2715 € | 450 | 0,2326 € |
| Mengenstaffel | Einzelpreis [EUR] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2,7900 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 1,9300 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 1,0000 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 37 | 0,6700 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 75 | 0,5000 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 125 | 0,4044 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 175 | 0,3601 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 250 | 0,3157 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 350 | 0,2715 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 450 | 0,2326 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Federprüfung nach DIN ISO 2859/1 Prüfniveau II

Bemerkungen

Gutekunst + Co.KG Federnfabriken · Carl-Zeiss-Straße 15 · D-72555 Metzingen
 Verkauf (+49) 07123 / 960-192 · Individuelle Federn (+49) 07123 / 960-193 · Zentrale (+49) 07123 / 960-0
 Telefax (+49) 07123 / 960-195 · E-mail: verkauf@gutekunst-co.com

Abbildung C-1: Feder VD-180Y-01 (5,6 mm) Spannweg [6]

Datenblatt Druckfeder : D-145DG

GUTEKUNST FEDERN

| | | |
|---|---|--|
| <p>d mm Drahtdurchmesser D mm Mittlerer Windungsdurchmesser Dd mm Dorndurchmesser De mm Äußerer Windungsdurchmesser Dh mm Hülsendurchmesser e1 mm Abweichung von Mantellinie e2 mm Abweichung von Parallelität F1 N Kraft der Feder vorgespannt F2 N Kraft der Feder gespannt</p> | <p>Fn N Höchstkraft der Feder Fc N Theo. Federkraft bei Blocklänge L0 mm Ungespannte Länge der Feder L1 mm Länge der Feder vorgespannt L2 mm Länge der Feder gespannt Lk mm Knicklänge Ln mm Kleinste Länge der Feder Lc mm Blocklänge n St. Anzahl federnenden Windungen</p> | <p>nt St. Anzahl der Gesamtwindungen R N/mm Federrate S mm Steigung der Federn s1 mm Strecke der Feder vorgespannt s2 mm Strecke der Feder gespannt sh mm Arbeitsweg (Hub) sn mm Grösste Strecke der Feder Gewicht g Gewicht der einzelnen Feder</p> |
|---|---|--|

* Die Werte unter dynamischer Belastung sind nur mit einer durch Kugelstrahlen verfestigten Oberfläche erreichbar!

| | | |
|--|---|---|
| <p>Form 1: <input checked="" type="checkbox"/> Federenden angelegt und geschliffen</p> | <p>Form 2: <input type="checkbox"/> Federenden angelegt</p> | <p>n 5,50 nt R 0,232 Gewicht 2,926</p> |
|--|---|---|

Federprüfung nach DIN ISO 2859/1 Prüfniveau II

1 Windungsrichtung
 links rechts

2 Dynamische Beanspruchung *

Fndyn 4,20
Fndtol 1,36
Lndyn 13,28
shdyn 18,12

3 Arbeitsweg sh mm

4 Lastspielzahl N

5 Lastspielfrequenz n /

6 Arbeitstemperatur °C

Bemerkungen

7 Führung und Lagerung DIN EN 13906-1
 Dorn Hülse
Knicklänge Lk bei Lagerungsbeiwert v=0,5 / Bild 5 0,00 mm

8 Werkstoff
EN 10270-1

9 Draht- oder Staboberfläche
 gezogen gewalzt spanend bearbeitet

10 Federn entgratet innen außen

11 Oberflächenschutz kugelgestrahlt

12 Toleranzen nach DIN EN 15800

| Gütegrad | De,Di,D | L0 | F1,F2 | e1,e2 | Drahtstärke d nach DIN 2076 |
|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | <input type="checkbox"/> |
| 2 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

13 Fertigungsausgleich durch

Eine Federkraft mit zugehöriger Länge L0

Eine Federkraft mit zugehöriger Länge und L0 n, d

Zwei Federkräfte mit zugehörigen Längen L0, n, d

14 Federn setzen
Alle Federn, die nach ihrer Baugröße zum Setzverhalten neigen, sind vorgesetzt.

Staffelpreise

| Mengenstaffel | Einzelpreis [EUR] |
|---------------|-------------------|
| 1 | 2,6800 € |
| 7 | 1,6400 € |
| 17 | 0,8300 € |
| 37 | 0,5200 € |
| 75 | 0,3600 € |
| 125 | 0,3156 € |
| 175 | 0,2714 € |
| 250 | 0,2493 € |
| 350 | 0,2216 € |
| 450 | 0,1662 € |

Gutekunst + Co.KG Federnfabriken · Carl-Zeiss-Straße 15 · D-72555 Metzingen
Verkauf (+49) 07123 / 960-192 · Individuelle Federn (+49) 07123 / 960-193 · Zentrale (+49) 07123 / 960-0
Telefax (+49) 07123 / 960-195 · E-mail: verkauf@gutekunst-co.com

Abbildung C-2: Feder D-145DG (5 mm) Spannweg [5]

Anhang D: Technische Zeichnungen und Stückliste

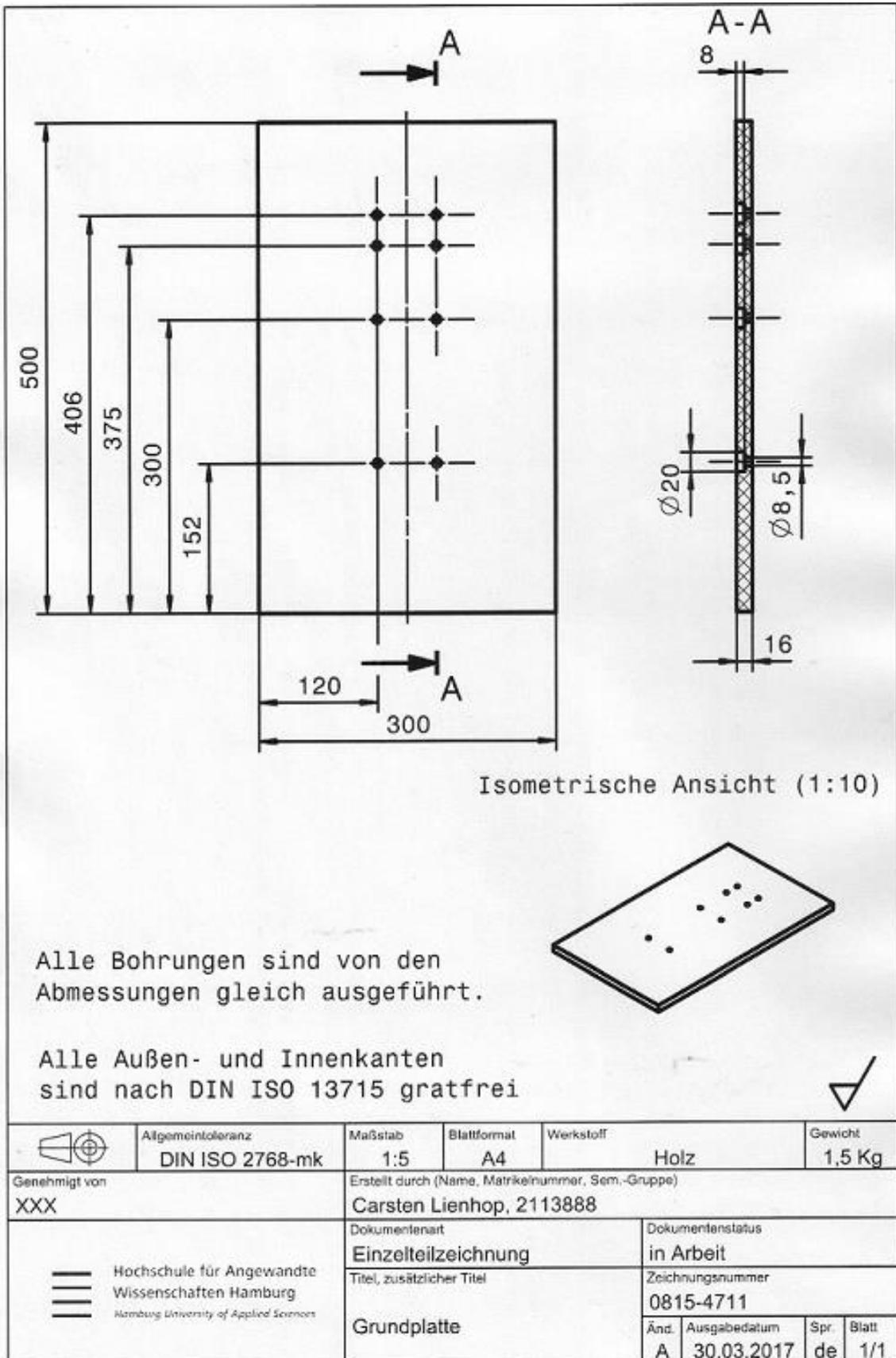


Abbildung D-1: Grundplatte

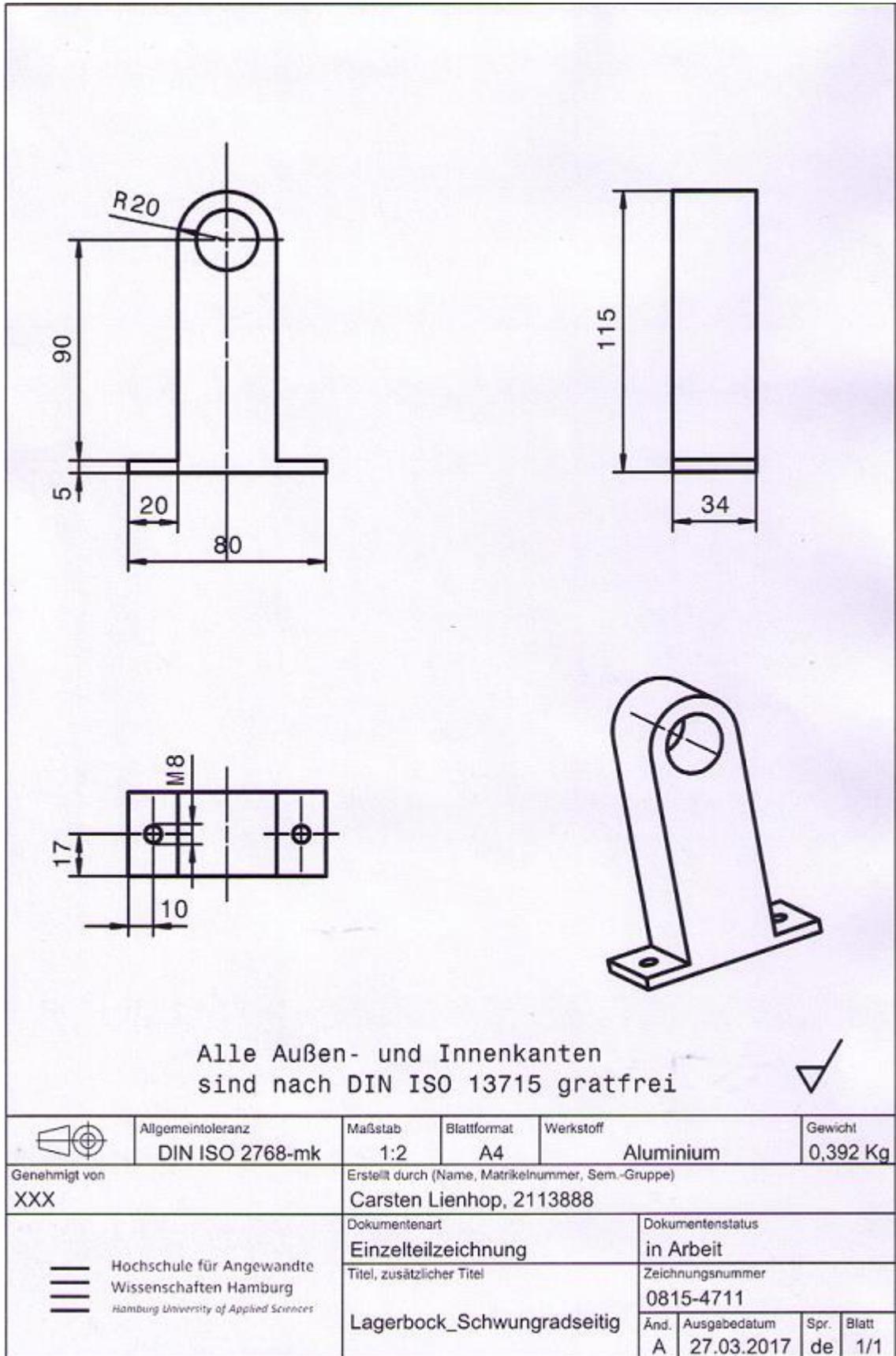


Abbildung D-2: Lagerbock Schwungradseitig

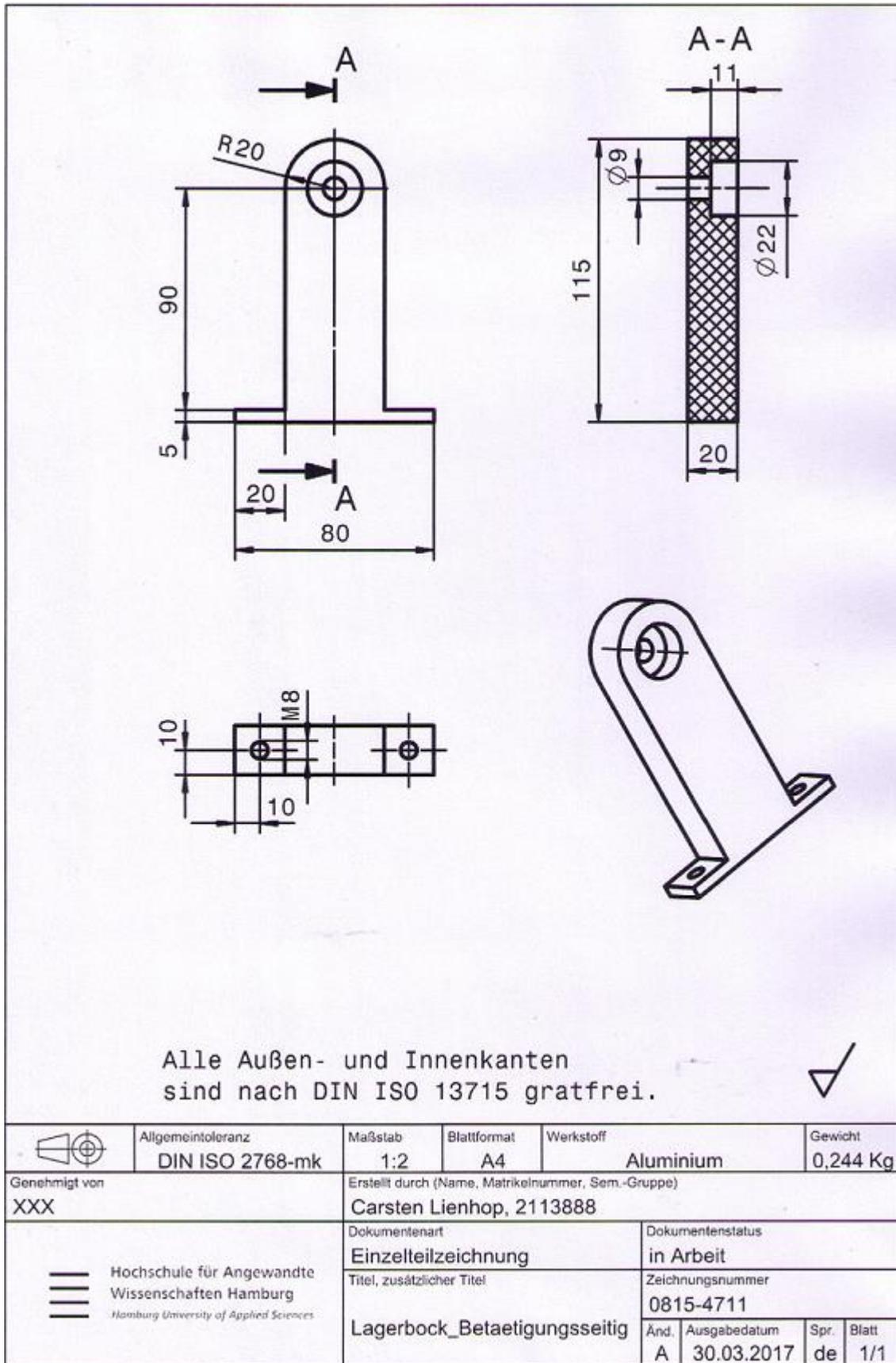


Abbildung D-3: Lagerbock Betätigungsseitig

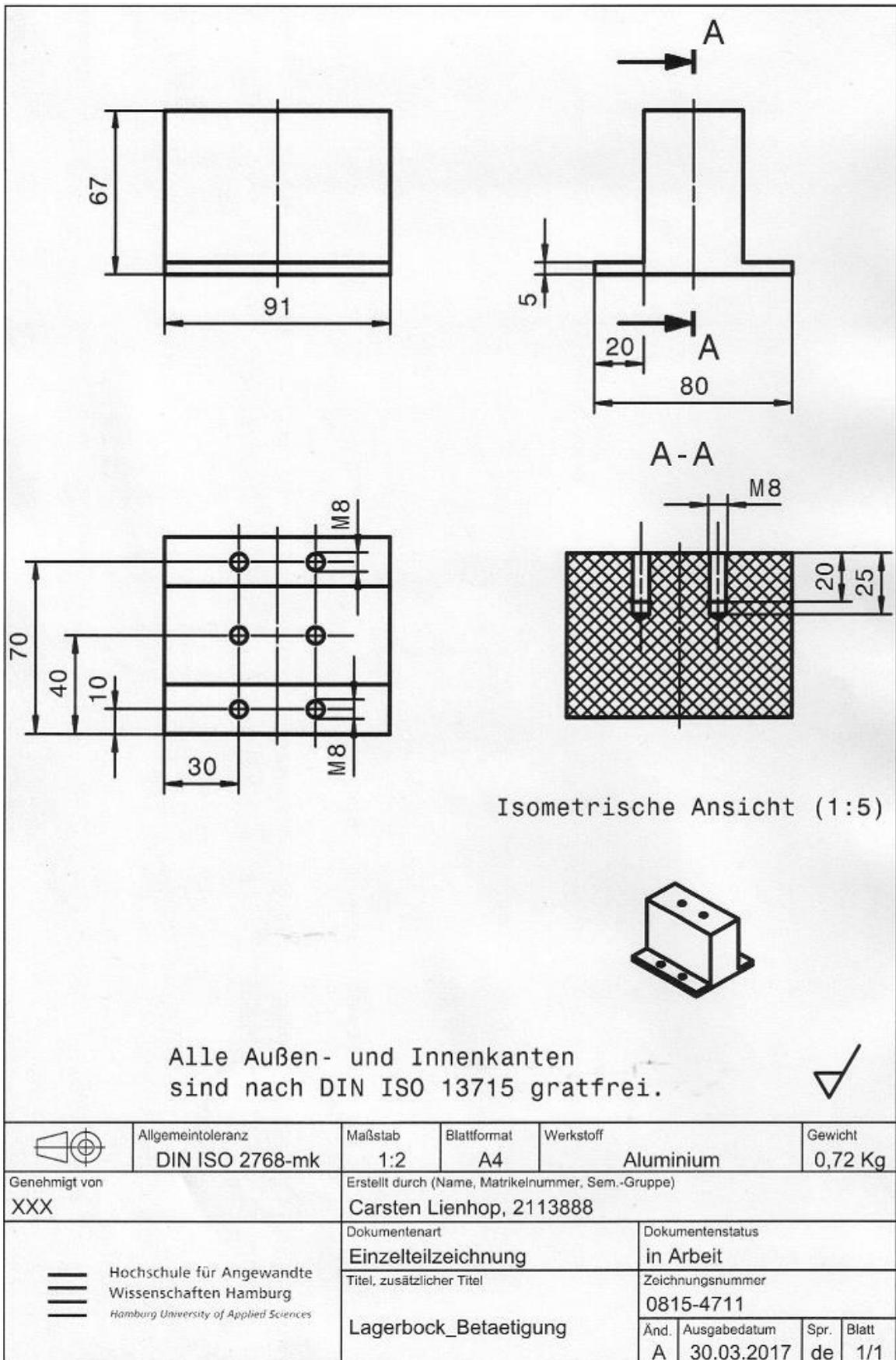


Abbildung D-4: Lagerbock Betätigung

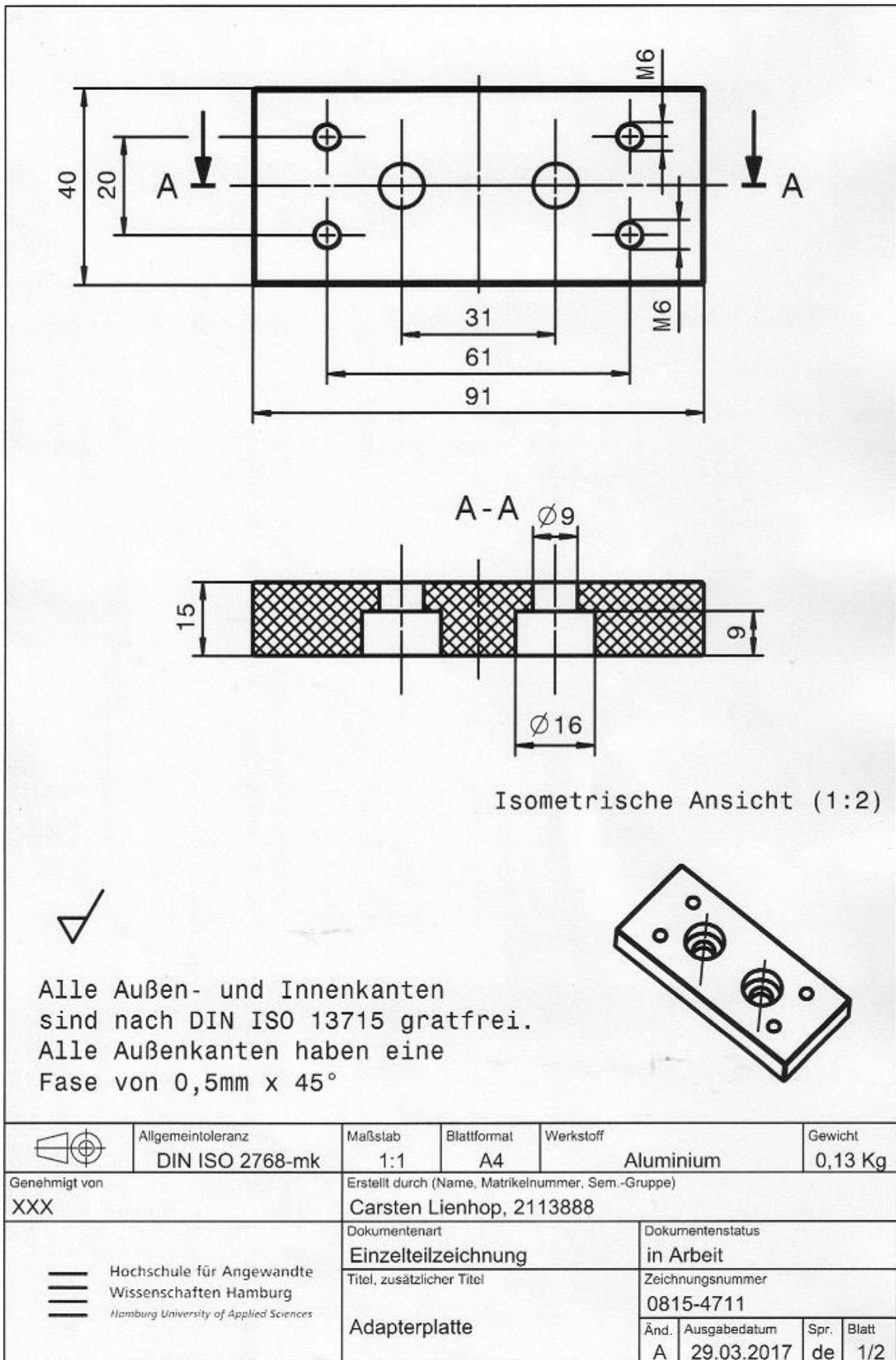


Abbildung D-5: Adapterplatte

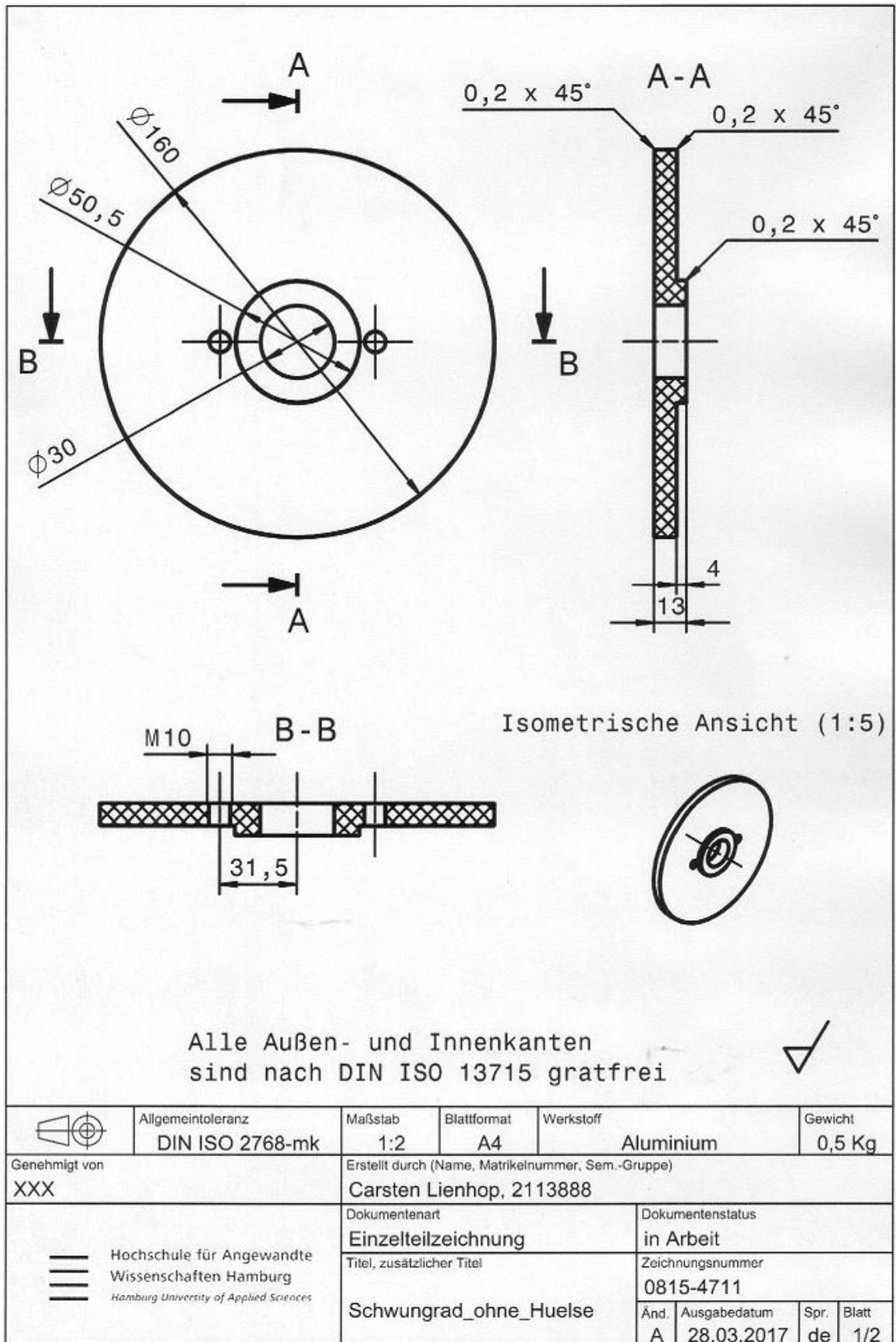


Abbildung D-6: Schwungrad ohne Hülse

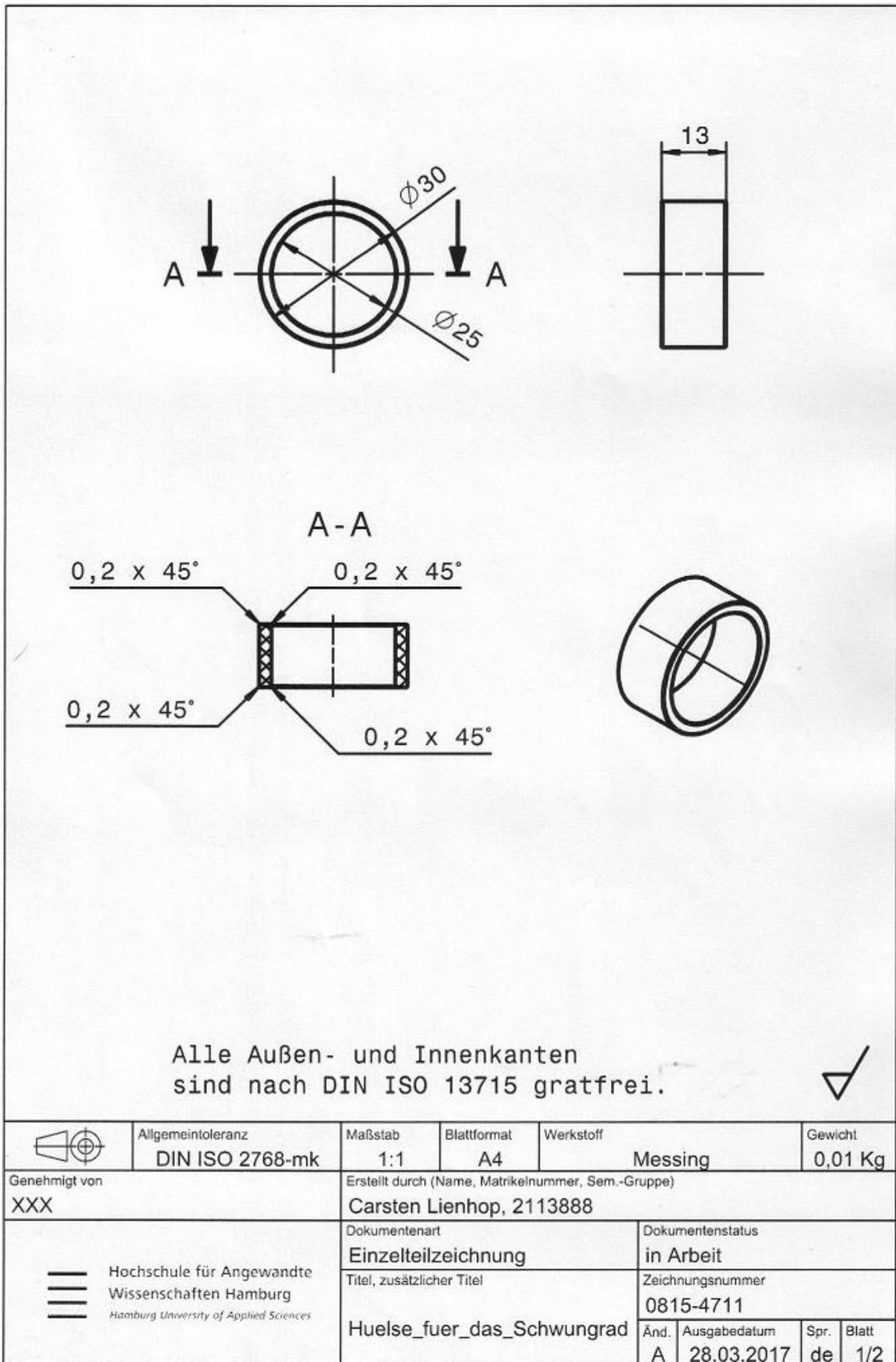


Abbildung D-7: Hülse für das Schwungrad

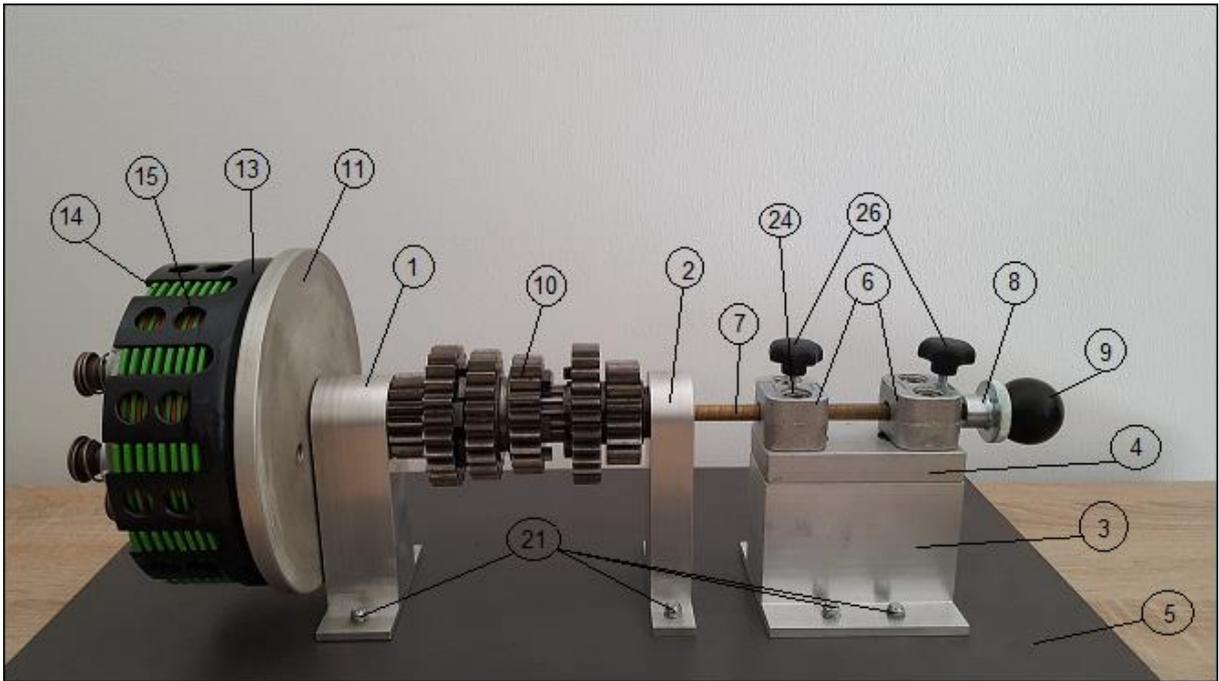


Abbildung D-8: Bezifferung zur Stückliste 1

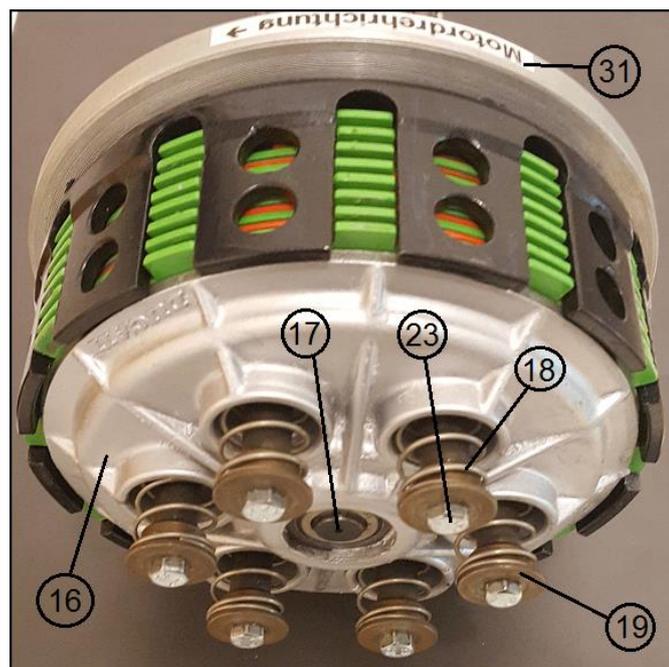


Abbildung D-9: Bezifferung zur Stückliste 2

Tabelle D-1: Stückliste für das Modell

| Stückliste | | | |
|-------------------|--------------|---|--------------------------|
| Position | Menge | Bezeichnung | Norm/Werkstoff |
| 1 | 1 | Lagerbock Schwungradseitig | Aluminium |
| 2 | 1 | Lagerbock Betätigungsseitig | Aluminium |
| 3 | 1 | Lagerbock Betätigung | Aluminium |
| 4 | 1 | Adapterplatte | Aluminium |
| 5 | 1 | Grundplatte | Holz |
| 6 | 2 | Druckstangenführung | Aluminium |
| 7 | 1 | Druckstange | Messing |
| 8 | 1 | Druckknäuf | Aluminium |
| 9 | 1 | Druckknäuf | Kunststoff |
| 10 | 1 | Welle | Edelstahl |
| 11 | 1 | Schwungrad ohne Hülse | Aluminium |
| 12 | 1 | Hülse für das Schwungrad | Messing |
| 13 | 1 | Kupplungskorb | Stahl |
| 14 | 8 | Reiblamellen | Stahl |
| 15 | 8 | Stahllamellen | Stahl |
| 16 | 1 | Druckplatte | Aluminium |
| 17 | 1 | Druckpilz | Stahl |
| 18 | 6 | Druckfedern | Federstahl |
| 19 | 6 | Kupplungsfederteller | Stahl |
| 20 | 1 | Nabe | Stahl |
| 21 | 8 | Sechskantschraube | DIN EN ISO 4017 - M8x20 |
| 22 | 8 | U-Scheibe | DIN 125-A 8.4-140HV |
| 23 | 6 | Sechskantschraube | ISO 4017 - M5 x 20 - 8.8 |
| 24 | 4 | Zylinderschraube mit Innensechskant | ISO 4762 - M6 x 30 - 8.8 |
| 25 | 2 | Zylinderschraube mit Innensechskant | ISO 4762 - M8 x 20 - 8.8 |
| 26 | 2 | Sterngriffschraube | DIN 6336 - M5 x 15 |
| 27 | 1 | Mutter (Original für Ducati Kupplung) | Stahl |
| 28 | 1 | Sicherungsscheibe (Original für Ducati) | Stahl |
| 29 | 1 | Buchse (Original für Ducati Kupplung) | Stahl |
| 30 | 6 | Nagelgleiter | Kunststoff/Edelstahl |
| 31 | 2 | Klebeschilder | / |
| 32 | 6 | Schutzkappe | Kunststoff |

Anhang E: Kurze Gebrauchsanweisung und Erläuterung des Kraftflusses

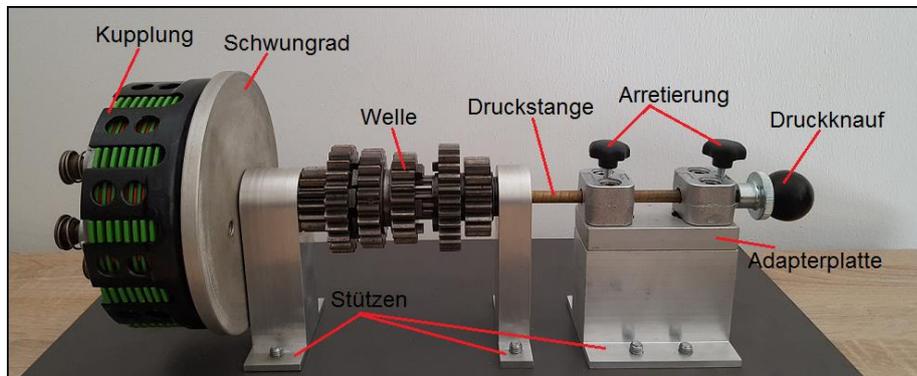


Abbildung E-1: Das Schulungsmodell

Gebrauchsanweisung:

Die Ausgangssituation (eingekuppelt):

In der Ausgangsstellung (siehe Abbildung E-1) ist die Kupplung eingekuppelt. Das Schwungrad und die Getriebewelle sind kraftschlüssig über die Lamellenkupplung verbunden. Eine Drehung am Schwungrad bewirkt auch eine Drehung der Getriebeeingangswelle.

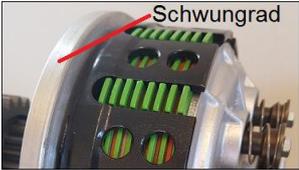
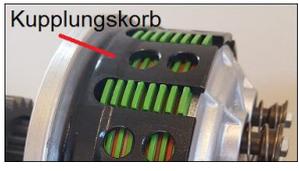
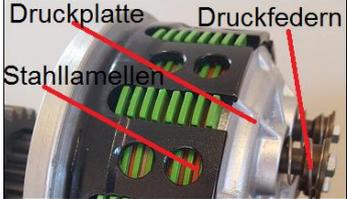
Die zwei Schritte des Kupplungsvorgangs:

- 1) Der Bediener drückt den Druckknopf, von der Perspektive der Abbildung E-1 aus gesehen nach links, bis zum Anschlag.
- 2) Der Bediener hält den Druckknopf in der Position aus Schritt 1 und dreht anschließend eine der beiden Arretierungsschrauben rechtsherum fest.

Die Endsituation (ausgekuppelt):

Als Folge dieser beiden Schritte ist die Kupplung ausgekuppelt. Zwischen den grünen und roten Lamellen befindet sich ein Luftspalt. Eine Drehbewegung am Schwungrad bewirkt nur noch eine Drehung von Schwungrad, Kupplungskorb und den grünen Reiblamellen. Die Getriebewelle steht hierbei weiter still. Es besteht kein Kraftfluss zwischen Motor und Getriebe.

Erläuterung des Kraftflusses:

| Schritte | Bild |
|---|--|
| 1) Das Drehmoment des Motors wird auf das Schwungrad übertragen. |  <p>Abbildung E-2: Detailansicht Schwungrad</p> |
| 2) Das Schwungrad ist mit dem Kupplungskorb verpresst und überträgt so das Drehmoment an diesen weiter. |  <p>Abbildung E-3: Detailansicht Kupplungskorb</p> |
| 3) In den Kupplungskorb greifen die grünen Reiblamellen ein und nehmen so das Drehmoment auf. |  <p>Abbildung E-4: Reiblamelle</p> |
| 4) Über das Zusammendrücken der Lamellen mithilfe der Druckfeder und der Anpressplatte entsteht eine reibschlüssige Verbindung zu den roten Stahllamellen. |  <p>Abbildung E-5: Detailansicht Druckeinrichtung</p> |
| 5) Die Stahllamellen besitzen eine Innenverzahnung, mit der sie in die Außenverzahnung der Innennabe eingreifen. | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="1031 1417 1225 1615">  <p>Abbildung E-6: Stahllamelle</p> </div> <div data-bbox="1257 1417 1444 1615">  <p>Abbildung E-7: Nabe</p> </div> </div> |
| 6) Die Nabe wiederum besitzt in der Mitte eine Verzahnung, um die Getriebeeingangswelle aufzunehmen. So kommt das Drehmoment letztendlich vom Motor zum Getriebe. |  <p>Abbildung E-8: Getriebeeingangswelle</p> |

Versicherung über die Selbständigkeit

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 selbständig 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

Hiermit versichere ich, Carsten Lienhop, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Thema:

Entwicklung eines Unterrichtsmodells einer Reibscheibenkupplung für die Sachverständigenausbildung

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.

Hamburg, 11.04.2017
Ort, Datum

Unterschrift