
S₂₈₁

Aufbau, Inbetriebnahme und Charakterisierung der hydraulischen Leistungsversorgung eines aktiven Fahrwerks

**Setup, Implementation and Characterization of the Hydraulic Power Supply
of an Active Suspension System**

Autor Cong Wang, B.Sc, (Betreuer Philipp Hedrich, M.Sc.)

Masterthesis am Institut für Fluidsystemtechnik, Darmstadt, 13 Juli 2017



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Prof. Dr.-Ing. Peter Pelz

Erklärungen

Hiermit versichere ich, die vorliegende Masterarbeit ohne Hilfe Dritter nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt zu haben. Alle Stellen, die den Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht worden. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

(Ort,Datum)

(Unterschrift)

Inhalt

1	MOTIVATION UND ZIEL DER ARBEIT.....	1
2	STAND DER FORSCHUNG	3
2.1	Hydraulische Leistungsversorgung der aktiven Luftfeder.....	3
2.2	Das Active-Body-Control System von Daimler	3
2.2.1	Einführung.....	4
2.2.2	Hydrauliksystem.....	4
2.2.3	Pumpe von dem ABC-System	5
3	KOMPONENTENAUSWAHL.....	7
3.1	Hydraulische Komponenten	8
3.1.1	Radialkolbenpumpe.....	8
3.1.1.1	Beschreibung der sauggedrosselten Radialkolbenpumpe.....	8
3.1.1.2	Integriertes Überdruckventil	9
3.1.2	Hydrospeicher.....	9
3.1.3	Chopper-Verstärker	9
3.1.4	Hydraulisches Öl.....	10
3.1.5	Filter.....	11
3.1.6	Tank.....	12
3.1.7	Kühlung des Öls	12
3.2	Antriebskomponenten.....	13
3.2.1	Elektrischer Motor	13
3.2.2	Kupplung	15
3.3	Elektrische Komponenten.....	15
3.3.1	Drehzahlgeber	15
3.3.2	Pegelwandler.....	15
3.3.3	CAN Bus/RS232 Converter	16
4	KONSTRUKTION UND INBETRIEBNAHME DES LEISTUNGSVERSORGUNGSYSTEMS	17
4.1	Anforderungen.....	17
4.2	Systematik der hydraulischen Schaltung der Leistungsversorgung	17
4.3	Konstruktion	18
4.3.1	Gesamtübersicht des Prüfaufbaus	18
4.3.2	Pumpenhalterung.....	19
4.3.3	Montagehilfe zur Ausrichtung der Pumpe	20

4.3.4 Filterhalterung	21
4.3.5 Halterung des Wärmetauschers.....	22
4.4 Numerische Festigkeitsberechnung der Pumpenhalterung	22
4.4.1 Randbedingungen	22
4.4.2 Ergebnisse der Festigkeitsberechnung.....	23
4.5 Inbetriebnahme der hydraulischen Leistungsversorgung.....	24
4.5.1 Motor.....	24
4.5.1.1 Auswahl der Regelungsart	24
4.5.1.2 Parametrierung des Motors	26
4.5.1.3 Fehlermeldungen und Fehlerbehebung	27
4.5.1.4 Drehzahl- und Drehrichtungsvorgabe	28
4.5.1.5 Auslesen des Motordrehmoments	29
4.5.2 CAN Bus/RS232 Converter	34
4.5.2.1 Elektrischer Anschluss.....	34
4.5.2.2 Einstellung des Converters	35
4.5.2.3 Einstellungen in dSpace.....	36
4.5.3 Drehgeber.....	38
4.5.4 Kühlung	39
4.5.5 Elektrischer Schaltschrank.....	40
5 MODELLBILDUNG UND SIMULATION DER RADIALKOLBENPUMPE.....	43
5.1 Funktionweise der Pumpe	43
5.2 Mechanisches Modell der Radialkolbenpumpe	45
5.3 Die Ergebnisse der Simulation.....	47
5.3.1 Einfluss der hydraulischen Induktivität	48
5.3.2 Einfluss der Kompressibilität des Fördermediums und Leckagen	49
5.3.3 Einfluss von Fertigungstoleranzen	49
5.4 Hydraulischer Wirkungsgrad der Radialkolbenpumpe.....	50
6 EXPERIMENTELLE CHARAKTERISIERUNG DER PUMPE.....	52
6.1 Versuchsumgebung	52
6.2 Messprogramm	54
6.3 Einsatz der hydraulischen Leistungsversorgung mit der aktiven Luftfeder.....	55
7 AUSWERTUNG DER ERGEBNISSE.....	58
7.1 Pumpenkennlinie	58
7.1.1 Vergleich der simulierten und gemessenen Kennlinien	58
7.1.2 Pumpenkennlinie bei verschiedenen Saugdrosselstellungen	59

7.1.3 Pumpenkennlinie bei verschiedenen Systemdrücken	59
7.2 Pumpenwirkungsgrad.....	60
7.3 Saugdrosselkennlinie	61
8 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	62
8.1 Zusammenfassung	62
8.2 Ausblick	62
ANHANG A.....	64
Abbildungsverzeichnis.....	64
Tabellenverzeichnis.....	66
Verzeichnis der auf dem Datenträger gespeicherten Dateien	68

Symbolverzeichnis

Basissystem

Die erste Spalte der folgenden Liste zeigt die im Text verwendeten Symbole für die auftretenden physikalischen und mathematischen Größen. In der zweiten Spalte wird die Bedeutung des Symbols beschrieben. Die Dimensionsformel jeder physikalischen Größe ist als Potenzprodukt der Basisgrößen Länge (L), Masse (M), Zeit (T), Temperatur (Θ), Stoffmenge (N), Strom (I) und Lichtstärke (J) in der Spalte 3 angegeben.

Lateinische Symbole

Symbol	Bedeutung	Dimension
A	Fläche	L^2
$A_L(\varphi)$	Kreissegmentöffnung	L^2
$A(\varphi)$	winkelabhäng, Blendenquerschnitt	L^2
$A_R(\varphi)$	Rechtecköffnung	L^2
A_K	Kolbenfläche	L^2
F	Kraft	$M L T^{-2}$
K	Kompressionsmodul	$M L^{-1} T^{-2}$
k_R	Federsteifigkeit Reifen (Viertelfahrzeug)	$M T^{-2}$
L	Wellenlänge der Fahrbahnunebenheit	L
m_A	Aufbaumasse (Viertelfahrzeug)	M
m_R	Radmasse (Viertelfahrzeug)	M
p	Druck	$M L^{-1} T^{-2}$
p_0	Systemdruck	$M L^{-1} T^{-2}$
p_k	Zylinderdruck	$M L^{-1} T^{-2}$
Δp	Druckdifferenz a.d. Steueröffnung	$M L^{-1} T^{-2}$
p_T	Druck im Tankrücklauf	$M L^{-1} T^{-2}$
p_u	Umgebungsdruck	$M L^{-1} T^{-2}$
P_E	Eckleistung Ventilsteuerung	$M L^2 T^{-3}$
P_S	Verlustleistung Ventilsteuerung	$M L^2 T^{-3}$
$P_{S,D}$	Drosselverluste Ventilsteuerung	$M L^2 T^{-3}$
$P_{S,Q}$	Volumenstromverluste Ventilsteuerung	$M L^2 T^{-3}$
Q	Volumenstrom	$L^3 T^{-1}$

Q_p	Fördervolumenstrom der Pumpe	$L^3 T^{-1}$
Q_k	Fördervolumenstrom eines Kolbens	$L^3 T^{-1}$
Q_{grenz}	Grenzwert des Fördervolumenstroms	$L^3 T^{-1}$
r	Radius der Steuerbohrungen	L
V_0	Gesamtverdrängervolumen	L^3
$V_K(\varphi)$	Fördervolumen	L^3
$V(\varphi)$	Hubvolumen	L^3
$V_{\text{öl}}(\varphi)$	Ölvolumen	L^3
V_{tot}	Totvolumen im kolbenraum	L^3
y	Schieberposition Wegeventil	L
y_0	Überdeckung Wegeventil	L
z_s	Straßenanregung	L
b	Breite d. Rechtecköffnung	L
e	Exzentrizität	L
h_{offen}	Öffnungshub der Steueröffnung	L
$h(\varphi)$	Kolbenhub	L
h_o	Gesamthub	L
$h'(\varphi, t)$	Ableitung des Kolbenhubes nach dem Drehwinkel	L
n	Drehzahl	T^{-1}
n_{grenz}	Grenzdrehzahl	T^{-1}
m	Zahl der Steueröffnungen	1
z	Kolbenzahl	1

Griechische Symbole

Symbol	Bedeutung	Dimension
ρ	Dichte	$M L^{-3}$
ω	Drehfrequenz	T^{-1}
η	Wirkungsgrad	
φ_{offen}	Drehwinkel für geöffnete Steuerbohrungen	
φ	Drehwinkel vom UT gezahlt	
φ_{NF}	Nichtförderwinkel	
φ_{NK}	Nichtkompressionswinkel	
φ_{VK}	Vorkompressionswinkel	
α	Blendenbeiwert	

Abkürzungen

aLF	Aktive Luftfeder
FST	Institut für Fluidsystemtechnik
HiL	Hardware in Loop
SFB	Sonderforschungsbereich
TU	Technische Universität
ABC	Active Body Control
UT	Unterer Totpunkt
OT	Oberer Totpunkt

1 Motivation und Ziel der Arbeit

Mit der Entwicklung der Automobiltechnik gewinnt die Sicherheit und der Fahrkomfort die zunehmende Bedeutung. Um eine gleichzeitige Erhöhung von Sicherheit und Fahrkomfort zu erreichen, wird eine aktive Luftfeder (aLF) für den Einsatz in Kraftfahrzeuge im Teilprojekt C4 am Institut für Fluidsystemtechnik (FST) im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 805 (SFB805) *Beherrschung von Unsicherheit in lasttragenden System des Maschinenbaus* entwickelt [1]. Der Aufbau der aktiven Luftfeder ist in Bild 1-1 zu sehen.

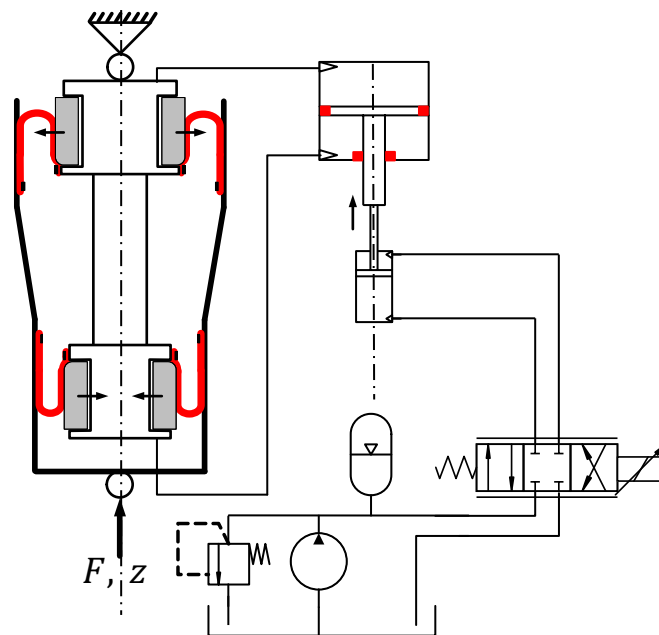


Bild 1-1 Aufbau der aktiven Luftfeder [2].

Die Veränderung der Tragfläche wird durch vier radial verstellbaren Segmenten im hydraulischen Betrieb erreicht. Das hydraulische System wird durch eine Pumpe versorgt. Es ist sinnvoll, die in ABC System von Daimler angewendeten Radialkolbenpumpe im aktive Luftfeder einzusetzen. Es bietet die folgenden Vorteile:

1. Leichtbau

Da aktive Systeme aufgrund der zusätzlichen Komponenten im Vergleich zu passiven in der Regel schwerer sind, sollte das Gewicht dieser Komponenten möglichst gering sein. Momentan wird eine Axialkolbenpumpe der Firma Parker mit einem Gewicht von 12.5 kg [3] zum Antrieb der aLF verwendet. Das Gewicht der ABC Radialkolbenpumpe hingegen beträgt nur ungefähr 5.4 kg. Deshalb ist sinnvoll, diese Pumpe in Kombination mit der aLF zu verwenden.

2. Niedriger Verlust

Bei momentan aktive Luftfeder Prüfungstand wird die Axialpumpe angewendet, die von einem Motor mit konstanter Drehzahl angetrieben wird [4]. Es handelt sich um eine Axialkolbenpumpe mit Druckfernvorstellung (siehe 5.46 [4]). Der Volumenstrom wird in die Widerstandssteuerung auf der Hochdruckseite gesteuert. Im Kraftzeug verändert sich die Drehzahl des Verbrennungsmotors immer, sodass der gelieferte Volumenstrom zeitlich

veränderlich ist. Der Verbrauchvolumenstrom der aktiven Luftfeder ist auch nicht konstant. Wenn das von der Pumpe gelieferte Öl mehr als das verbrauchte Öl ist, fließt das übrige gepumpte Öl durch das Rückschlagventil direkt zurück ins Tank. Es führt zu dem Energieverlust. Im Vergleich dazu wird die Radialkolbenpumpe durch Saugdrossel mit elektrischem Signal geregelt, sodass der Hochdruckvolumenstrom zeitlich durch Saugdrossel geregelt wird. Außerdem ist der Wirkungsgrad der ABC Radialkolbenpumpe abhängig von der Drehzahl und Systemdruck und ist normalerweise größer als 70%.

3. Konstanter Volumenstrom bei verschrienen Drehzahl

Die Radialkolbenpumpe kann unter verschiedene Drehzahl konstanter Volumenstrom geliefert. Da die Pumpe in Praxis durch den Verbrennungsmotor antrieben wird, verändert sich die Drehzahl des Verbrennungsmotor normalerweise von 700 min^{-1} bis 7000 min^{-1} . Deshalb ist es wichtig, der Volumenstrom durch Elektrosignal zu regeln. Durch die Anwendung der ABC Radialkolbenpumpe bietet die Möglichkeit, bei verschiedener Drehzahl konstanter Volumenstrom zu liefern und noch durch Saugdrossel mit dem elektrischen Signal geregelt zu werden. Um die reale Anwendung zu simulieren, ist es sinnvoll, die zum Antrieb der aktiven Luftfeder zu verwenden.

Ziel dieser Arbeit ist der Aufbau der hydraulischen Leistungsversorgung unter Betrachtung der Anforderung an den Einsatz in einem aktiven Fahrwerk. Die Pumpe wird schon von Daimler ausgewählt. Dazu sind andere für die Pumpe angepassten Komponenten auswählen. Die einzelnen Komponenten werden in Vorversuch experimentell untersucht und in Matlab/Simulink modelliert. Danach erfolgen der Aufbau und die Inbetriebnahme der gesamten Leistungsversorgung sowie deren Einsatz in Kombination mit der aktiven Luftfeder. Schließlich wird erst Test für ganze gesamt System durchgeführt und die Ergebnisse dokumentiert.

Alle in der folgenden Kapitel dargestellten Herleitungen, Darstellungen und Ergebnisse werden in enger Zusammenarbeit mit dem Betreuer Philipp Hedrich erarbeitet.

2 Stand der Forschung

Der aktuelle Stand des Forschungsprojekts wird im Folgenden erklärt.

2.1 Hydraulische Leistungsverorgung der aktiven Luftfeder

Diese Arbeit schließt an die Arbeit von Gerhard [4] an. Das ganze System der hydraulischen Leistungsverorgung ist in Bild 2-1 dargestellt.

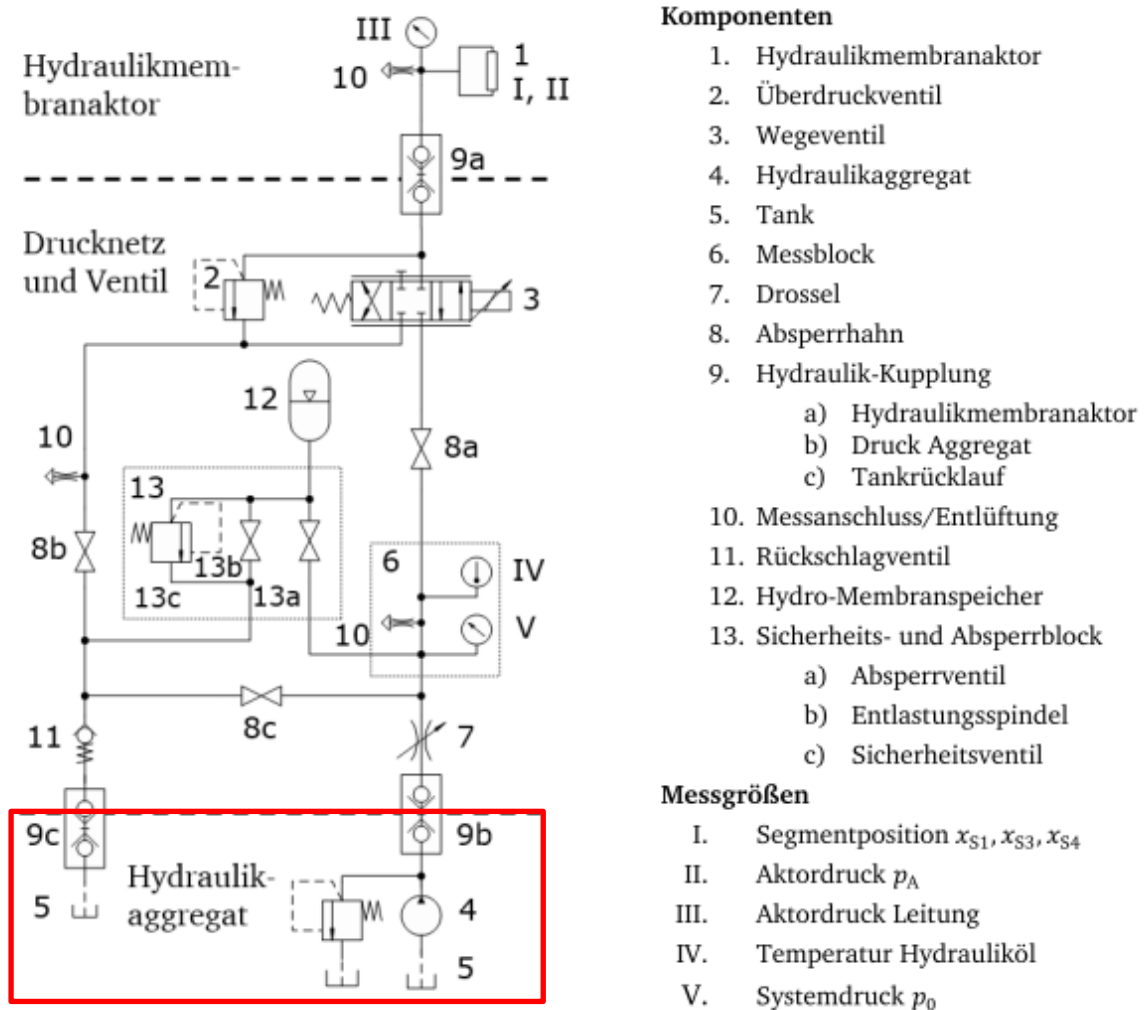


Bild 2-1 Hydraulisches Leistungsverorgungssystem für die aktive Luftfeder [4].

Diese Arbeit konzentriert sich auf den Teil von der Hydraulik Aggregat, nämlich im Bild 2-1 mit dem roten Block angezeichnete Teil.

2.2 Das Active-Body-Control System von Daimler

Der aktuelle Stand des aktiven Fahrwerkesystems kann von [6] entnommen. Aktive Fahrwerke sind schon seit langer Zeit ein Ziel der Fahrzeugentwickler. Aktive bedeutet, dass die

Karosseriebewegungen aktive auszugleichen werden können. Die ist einfach mit der Anwendung von hydraulischem System zu erreichen.

Zurzeit sind zwei unterschiedlichen Konstruktion mit Pumpen technische realisiert werden, nämlich:

1. Open Center System
2. Closed Center System [6]

Ein typisches Beispiel für Open Center System ist BMW Luxus-Sportklasse. Daimler Chrysler Luxus-/Oberklasse ist ein Beispiel für Closed Center System.

Die Closed Center System ist bei diesem Projekt anzuwenden. Zur Druckerversorgung ist eine intern und extern sauggedrosselte Radialkolbenpumpe einzusetzen.

2.2.1 Einführung

Das ABC-System von Daimler wird von [5] detailliert beschrieben. ABC System ist ein teilaktives Federungssystem, das Daimler in den CL-Coupés serienmäßig und in den Limousinen der S-Klasse als Sonderausstattung einführte. Zudem stellte das ABC-System im 2001 neu vorgestellte Roadster SL 500 gleichfalls serienmäßig zur Verfügung. Durch den Einsatz vom ABC-System waren die niederfrequenten Aufbaubewegungen gegenüber dem Benchmark-Fahrzeug nochmals deutlich zu reduziert. Außerdem wird die Fähigkeit von dem sportwagenähnliches Verhalten aufgewiesen.

2.2.2 Hydrauliksystem

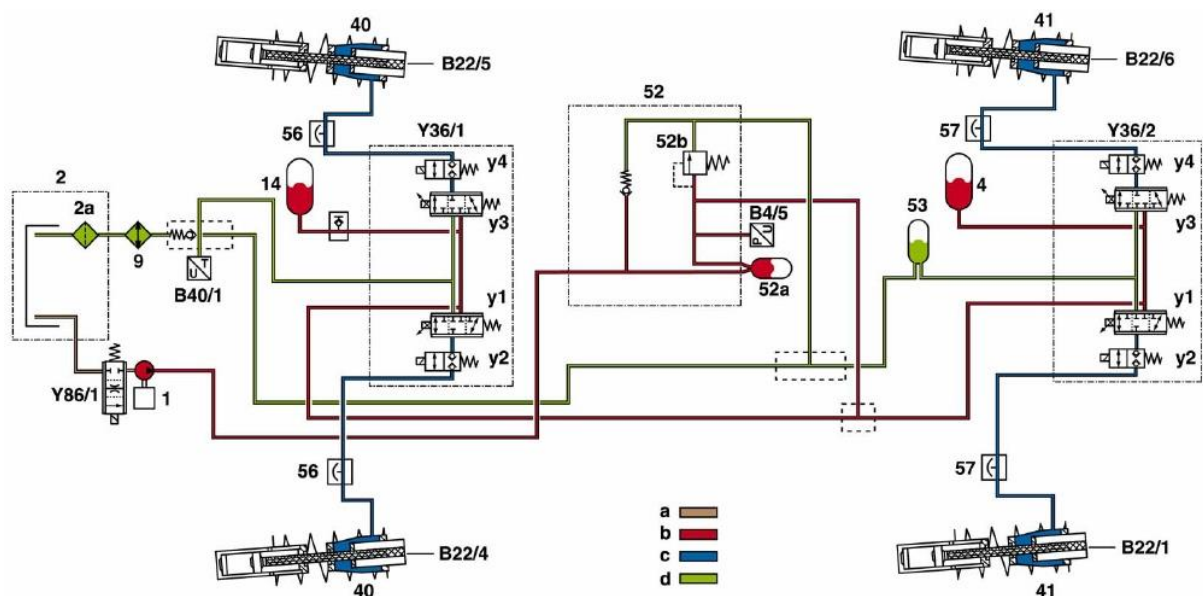


Bild 2-2 Hydraulikschaltplan des ABC-System [7].

Der hydraulische Schaltungsplan ist im Bild 2-2 zu sehen. Die Komponenten werden durch das folgende Formular Tabelle 2-1 beschrieben.

No.	Komponente	No.	Komponente
1	Tank	2	Rücklauffilter
3	Kühler mit Bypass	4	Temperatursensor
5	Saugdrossel	6	Radialkolbenpumpe
7	Achsspeicher Vorderachse	8	Entlüftungsnippel Vorachsfederbeine
9	Federbeine vorne	10	Plunger
11	Ventilblock Vorderachse	12	Sperrventile
13	Regelventil	14	K-Block
15	Druckbegrenzungsventil	16	Drucksensor
17	Pulsationsdämpfer	18	Rücklaufspeicher
19	Achsspeicher Hinterachse	20	Entlüftungsnippel Hinterachsfederbeine
21	Federbeine hinten	22	Plunger
23	Ventilblock Hinterachse	24	Sperrventile
25	Regelventile		

Tabelle 2-1 Komponenten Liste von dem ABC-System.

Die hydraulische Leistung des ganzen Systems wird durch das Leistungsversorgungssystem [7] bereitgestellt, die aus Radialpumpe, Rücklauffilter, Kühler mit Bypass und Saugdrossel besteht. Der Systemdruck liegt bei 200 bar.

2.2.3 Pumpe von dem ABC-System

Die im ABC-System eingesetzte Pumpe wurde von der Firma Luk hergestellt. Das aktuelle Modell von der Firma Ixetic hergestellt. Die Pumpe besteht aus sieben Kolben und baut mit der Flügelzellenpumpe (Lenkhelfpumpe) zusammen. Ein Speicher, Überdruckventil und eine Drossel werden auch gleichzeitig in der Pumpe integriert.

Da die Lenkung mittlerweile elektrisch angetrieben wird, ist die Pumpe von Ixetic eine reine Radialkolbenpumpe, die nur für Antrieb der ABC-System verwendet wird (siehe Kapitel 3.1.1). Im Luk [6] beschreibt die Funktion von der Pumpe. Die generelle Funktionsweise der sauggedrosselten Radialkolbenpumpe ist in Bild 2-3 schematisch dargestellt.

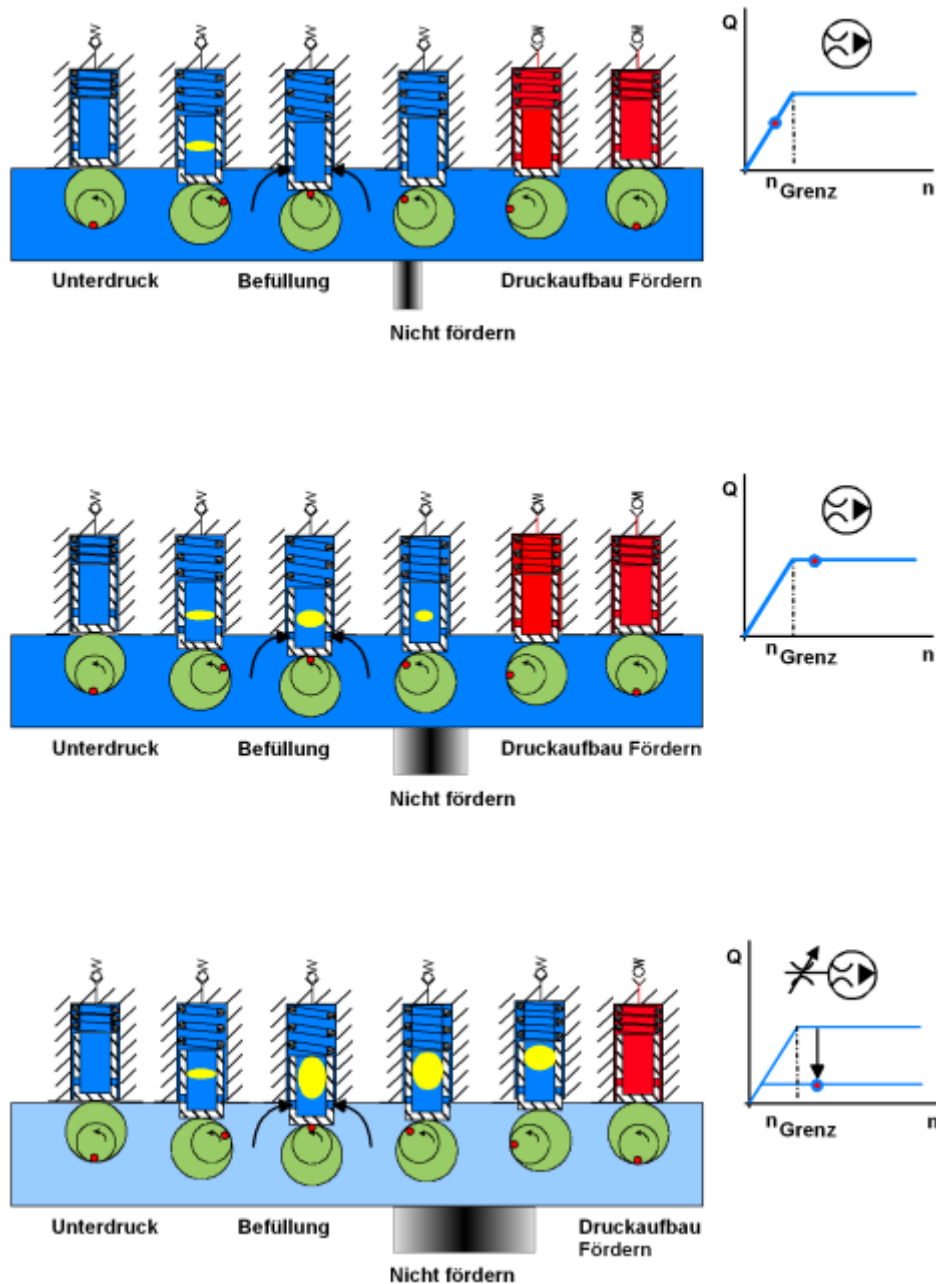


Bild 2-3 Funktionsweise der ABC Radialkolbenpumpe [6].

Der obere Teil schreibt, dass die Pumpe als konstante Pumpe arbeiten. Der Kolbenraum ist vollständig mit Öl gefüllt. Wenn die Pumpendrehzahl zunimmt, erhöht sich die Fördermenge. Der Fördervolumenstrom ist proportional zur der Drehzahl. Mit der Erhöhung der Drehzahl erreicht die Betriebspunkt Grenzdrehzahl, wenn Befüllzeit mit steigender Pumpendrehzahl nicht mehr ausreicht. Ab diesem Moment spielt die Steuerung der Saugdrossel immer größer Rolle. Wenn die Drehzahl sich nach der Grenzdrehzahl weiter erhöht, bleibt der Volumenstrom annähernd konstant. Die Realisierung von der Steuerung durch die Saugdrossel ist im Kapitel 7.3 dargestellt. Im Vergleich zu einer Konstantpumpe sinkt der Leistungsbedarf um bis zu 90%. [6]

3 Komponentenauswahl

Das System der Leistungsversorgung besteht aus mechanischen, hydraulischen und elektrischen Komponenten. Der gesamte hydraulische Schaltungsplan mit dem elektrischen Fluss ist wie Bild 3-1 zu sehen.

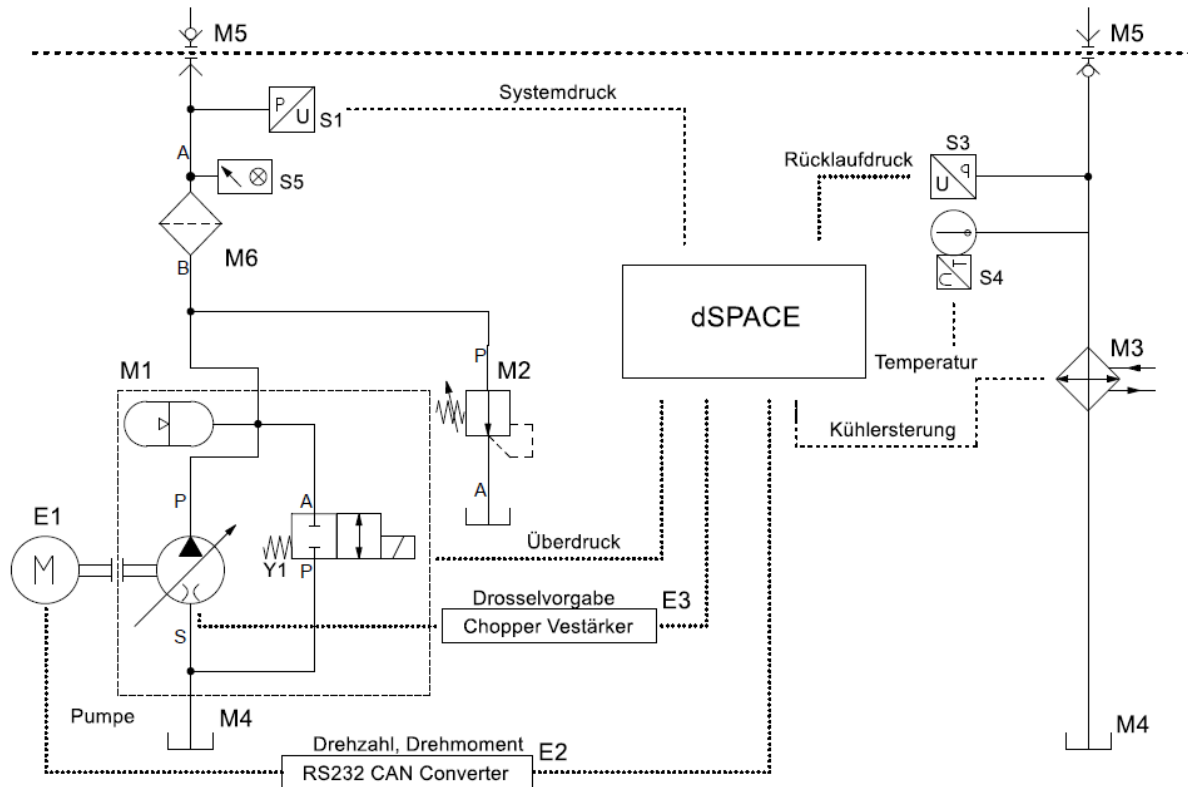


Bild 3-1 Schaltungsplan des Leistungsversorgung Systems.

Zeichnung	Name	Zeichnung	Name
M1	ABC Pumpe	E1	Elektrischer Motor
M6	Filter	E2	Converter
M2	Überdruckventil	E3	Chopper-Verstärker
M3	Wärmetauscher	S1, S3	Drucksensor
M4	Tank	S4	Temperatursensor
M5	Schnellkupplung	S5	Manometer

Tabelle 3-1 Bezeichnung der einzelnen Komponenten.

3.1 Hydraulische Komponenten

Die hydraulischen Komponenten sind die ABC Radialkolbenpumpe, der Speicher, der Tank, Filter, der Chopper-Verstärker und das hydraulische Öl. Diese Komponenten werden nun detaillierter beschreiben.

3.1.1 Radialkolbenpumpe

3.1.1.1 Beschreibung der sauggedrosselten Radialkolbenpumpe

Die angewendete Radialkolbenpumpe von Daimler kann den vom aktive System benötigten Volumenstrom von 1~12 l/min und die maximale Druckdifferenz von 200 bar liefern. Die technischen Daten werden von Firma Daimler bereitgestellt. Nach der Messung und Untersuchung werden ein paar davon korrigiert. Es handelt sich um eine innen abgestützte, außen beaufschlaget Radialkolbenpumpe mit 7 Kolben und einem geometrischen Verdrängungsvolumen von 6.2 cm³. Zudem werden die Speicher, elektrische angesteuerte Überdruckventil und proportional Saugdrosselventil in der Radialkolbenpumpe gleichzeitig integriert.

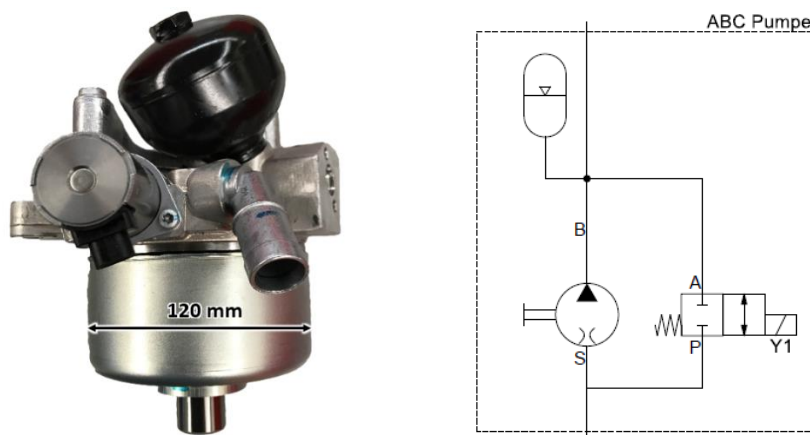


Bild 3-2 ABC Pumpe und Schaltungsplan.

Der Schaltplan wird durch die Tabelle 3-2 dargestellt und die Bild 3-2 die praktische Aufbau angezeigt. Ein paar wichtige technische Daten sind wie folgedn Tabelle 3-1 aus,

Name	Wert	Name	Wert
Max. Volumenstrom	12 l/min	Geometrische Volumen	6.7 cm ³
Betriebsdruckbereich	ca. (40...200) bar	Drehzahlbereich	(100...7000) min ⁻¹

Tabelle 3-2 technische Daten der ABC Radialkolbenpumpe.

3.1.1.2 Integriertes Überdruckventil

In der Radialkolbenpumpe ist ein Überdruckventil verbaut, um zu hohe Systemdrücke zu vermeiden. Das Überdruckventil wird durch elektrisches Spannungssignal von 12 V angesteuert. Die Ansteuerung des Ventils erfolgt über dSpace. Die Funktion ist wie folgenden aus.

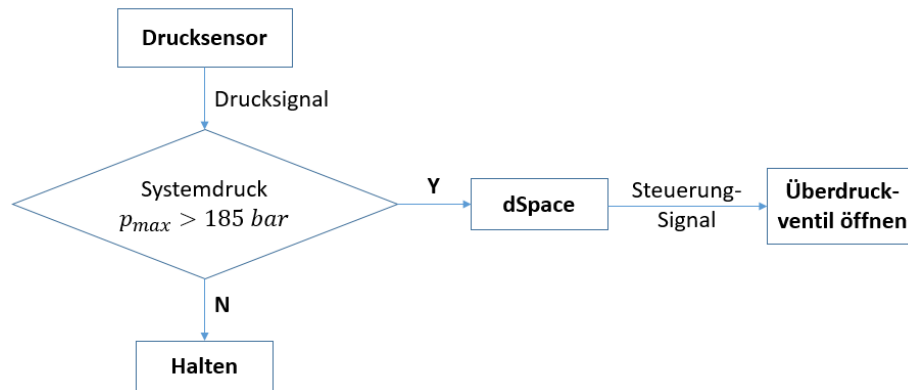


Bild 3-3 Funktionsweise der Ansteuerung des Überdruckventils.

Das Systemdruck wird durch Drucksensor ins elektrische Signal von 0 bis 10V umgewandelt. Wenn das Systemdruck mehr als 185 bar ist, erzeugt die dSpace ein Öffnungssignal. Im folgen wird Überdruckventil geöffnet. Im Folge wird der Systemdruck verringert auf ungefähr 40 bar.

3.1.2 Hydrospeicher

Zur Vermeidung der Druckspitzen wird ein zusätzlicher Hydrospeicher eingesetzt. Zudem führt ein Hydrospeicher auch zur Deckung und Dämpfung des Volumenstrombedarfs bei schwankenden Anforderung. Der Hydrospeicher ist schon direkt in die Pumpe integriert.

3.1.3 Chopper-Verstärker

Um das dynamische Verfahren zu verbessern, ist ein Chopper-Verstärker zu verwenden. Nach Besichtigung der Anforderung wird Lynch LE PPX ausgewählt [8]. Ein Chopper-Verstärker dient dazu, ein Eingangsspannungssignal in ein Stromsignal zu umwandeln. Zusätzlich kann das erzeugte Signal mit einer höher Frequenz Schwingung (ca. 140 Hz) überlagert werden, um Stick-Slip-Effekte bei der Bewegung der Ventilkolben zu vermeiden.

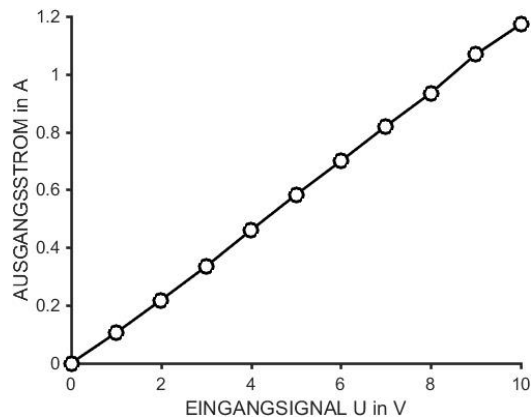


Bild 3-4 [184] Einstellte Kennlinie des Chopper-Verstärkers.

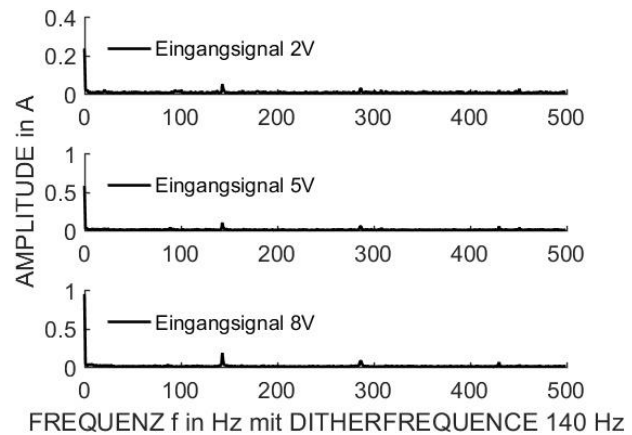


Bild 3-5 [184] Analyse des Ausgangstromsignals in Frequenzbereich.

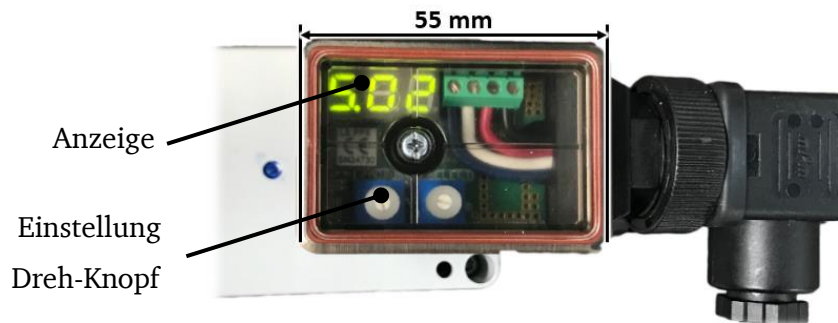


Bild 3-6 Chopper-Verstärker.

Durch die Anzeige kann man das Eingangssignal auch einfach auszulesen werden. Der mit beiden Dreh-Knöpfen werden alle Parameter eingestellt. Bei dieser Anwendung wurde die Parameter wie in Tabelle 3-3 eingestellt.

Parameter	Wert	Beschreibung
Eingang	(0...10) V	Analog Spannung Signal
Ausgang	(0...0.9) mA	Analog Strom Signal
Dither Frequenz	140 Hz	

Tabelle 3-3 Chopper-Verstärker Parameter.

3.1.4 Hydraulisches Öl

Die Druckflüssigkeit ist ein Teil des hydraulischen Systems. Die Aufgabe des Öls ist nicht nur Übertragung der Leistung, sondern auch Folgendes [9].

1. Schmierstoff, um den Widerstand vom System zu reduzieren,
2. Schutzstoff, damit Korrosion und anderen chemische Veränderung vermieden werden,
3. Kühlmittel, das die Wärme der hydraulischen Elemente abkühlt.

Aufgrund des guten Kältefließverhaltens und schnellen Luftabscheidevermögens wird eine Hochdruckflüssigkeit auf Mineralölbasis verwendet, das TITAN ZH 5364 B. Eine detaillierte Beschreibung der Funktionsweise findet sich in der Produktbeschreibung [10]. Es hat die folgenden Vorteile:

1. Superior anti-wear Leistung,
2. Niedrige Reibung,
3. Ausgezeichnete Scherstabilität,
4. gute Kältefließverhalten,

Ein paar wichtige technische Daten wird im folgen Tabelle 3-4 bereitgestellt. Das vollständige Datenblatt wird im Datenblatt gefunden.

Kinematische Viskosität:	
Bei 40 °C	30.6 mm ² /s
Bei 100 °C	6.2 mm ² /s
Dynamische Viskosität:	
Bei -40 °C	6000 mPas
Dichte:	
Bei 15 °C	0.85 g/ml
Maximaler Temperaturbereich	(-68 °C...200) °C

Tabelle 3-4 technische Daten des hydraulischen Öls.

3.1.5 Filter

Während der Arbeit von Hydraulischen System wird die hydraulische Öl verschmutzt [9]. Grund dafür sind Ausfälle und Stillstände von den hydraulischen Komponenten. Die Verschmutzung führt dazu:

1. Verringerung der Lebensdauer
2. Verringerung der Wartungsintervalle
3. Erhöhung der Maschinenausfallzeiten
4. Stieg von Umweltbelastungen

Aus diesem Gründen werden hydraulische Filter eingesetzt. Um geeignete Filter auszuwählen, ist die Filtereinheit ausschlaggebend zu bestimmen. Die in der Hydraulikanlage befindlichen Bauelemente sind im Wesentlichen für die Auswahl der Filtereinheit. Die Anforderung von für aktive Luftfeder System Filtereinheit ist 3 µm. Neben die Filtereinheit sind im Folgenden auch berücksichtigt:

1. Maximaler Volumenstrom am Filter (12 l/min),
2. kinematische Viskosität des Betriebsmediums (30.6 mm²/s bei 40 °C),
3. Dichte ρ des Betriebsmediums,
4. Filtermaterial.

Nach der Berücksichtigung der Anforderung des Leistungsverversorgungsystems wird die Filter von Firma MPFILTRI ausgewählt. Die wichtigen technischen Daten sind wie folgender Tabelle 3-5 zu beschreiben.

Parameter	Wert
Max. Betriebsdruck	420 bar
Filtereinheit	3 μm
Max. Volumenstrom	150 l/min
Betriebstemperatur	-25 °C bis +110 °C

Tabelle 3-5 Technische Daten des Filters.

3.1.6 Tank

In Watter [11] werden die theoretischen Aufgaben des hydraulischen Systems behandelt. Der Tank hat folgende Aufgaben:

1. Der Tank gleicht die Volumenschwankungen wegen der unter geänderten Temperaturen geführten Dichtschwankung aus.
2. Er dient auch als Ausgleich von Volumenstromschwankungen bei veränderte Betriebsbedingungen.
3. Rückführung der ins Öl dissipierte Energie.

Aufgrund des Bedarfs des Systems ist für den Tank von der Firma ‚HBE‘ mit dem Volumen 3,5L entschieden.

3.1.7 Kühlung des Öls

Im Rücklauf wird ein Wärmetauscher eingesetzt, damit die Temperatur während der Messung immer möglichst konstant bleiben kann. Der Wärmetauscher besteht aus geprägten mit Kupfer im Vakuumverfahren verlötete Edelstahlplatten [12]. Beim Zusammenfügen wird jede zweite Platte um 180 Grad in der Ebene gedreht, wodurch sich zwei voneinander gedrehte Strömungsräume bilden, in denen die an der Wärmeübertragung beteiligten Medien im Gegenstrom geführt werden. Die Prägung der Platten erzeugt einen hochturbulenten Durchfluss. Dies ermöglicht eine sehr effektive Wärmeübertragung schon bei geringen Volumenströmen. Die wichtigen technischen Daten sind in der folgenden Tabelle 3-6 beschrieben.

Um während der Messung die Temperatur konstant halten zu können, wird ein zusätzlicher Regler in dSpace aufgebaut. Das analoge Temperatursignal aus dem Sensor wird durch dSpace aufgenommen. Nach der Verarbeitung des Tiefpassfilters mit Begrenzungsfrequenz 1 Hz wird das Rauschen im Hochfrequenzbereich herausgefiltert. Anschließend wird das Signal durch noch Relay Funktion (Zweipunktregler) weiterverarbeitet. Wenn die Temperatur über 45.5°C ist, wird das Wasserventil geöffnet und es wird zugemacht, wenn die Temperatur unter 44.5°C ist.

Technische Parameter	Daten	Kommentar
Max. Leistung	22 kW	
Max. Durchflussmenge	4 m ³ /h	66.7 l/min
Anschlüsse	2-mal 1/2" 12,70 mm 2-mal 3/4" 19,05 mm	nach ISO-G
Max. Druck	45 bar	

Tabelle 3-6 Technische Daten des Plattenwärmetauschers.

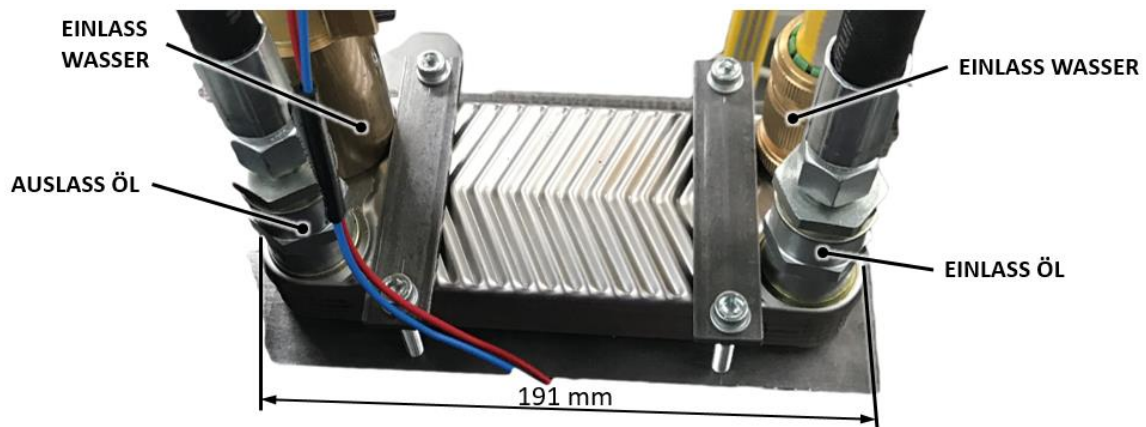


Bild 3-7 Plattenwärmetauscher.

3.2 Antriebskomponenten

Im Praxis wird die Radialkolbenpumpe durch den Verbrennungsmotor antrieben. Es ist unmöglich, bei der Labor ein Verbrennungsmotor aufzubauen. Alternative ist ein elektrischer Motor. Im Vergleich zu dem Verbrennungsmotor kann im Labor die Drehzahl mit dem Elektromotor vorgegeben werden. Zudem muss eine Kupplung zwischen Pumpe und Motor verwendet werden.

3.2.1 Elektrischer Motor

Es ist wichtig, während der Auswahl eines elektrischen Motors die Leistung und das Drehmoment zu berücksichtigen. Die hydraulische Leistung des ABC Leistungsversorgungssystem wird durch die folgenden Gleichungen mit der Annahme gesamt Wirkungsgrad $\eta_{\text{ges}} = 0.8$ berechnet,

$$P_{\text{max}} = (Q_{\text{max}} \Delta p) / \eta_{\text{ges}} \quad \text{Gl. 3-1}$$

$$n_{\text{grenz}} = Q / (V_g \eta_{\text{vol}}) \quad \text{Gl. 3-2}$$

$$M_{\text{max}} = p / (\pi n) \quad \text{Gl. 3-3}$$

Beschreibung	Formelzeichen	Wert
Maximale Leistung	P_{\max}	5 kW
Grenzdrehzahl	n_{grenz}	1791 min ⁻¹
Maximal Drehmoment	M_{\max}	21.31 Nm
Maximal Volumenstrom	Q_{\max}	12 l/min
Druckdifferenz	Δp	200 bar
Geometrische Volumen	V_g	6.7 cm ³
Gesamtwirkungsgrad	η_{ges}	0.8

Tabelle 3-7 Beschreibung der Eingangsgrößen zur Motorauswahl.

Durch die von Daimler bereitgestellte technische Daten der Radialkolbenpumpe ist die Forderung des Motors von den technischen Daten im Folgend Tabelle 3-8 und der Ablauf des Moments in dem Bild 3-8 darzustellen.

Technische Daten	Wert
Elektrische Leistung	min. 5 kW
Drehzahl Arbeitsbereich	(700...3000) min ⁻¹ optional (700...7000) min ⁻¹
Maximales Drehmoment	22 Nm
Bauformen	Flansch und Fuß

Tabelle 3-8 Technische Anforderung an dem elektrischen Motor.

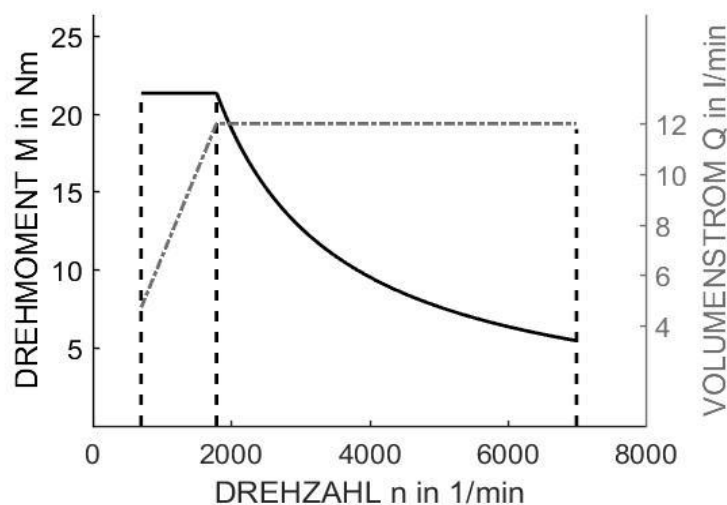


Bild 3-8 Berechneter Verlauf von Motordrehmoment und Volumenstrom über die Motordrehzahl.

Nach Anfragen bei den drei Firmen(Siemens, Lenze, Beckhoff) wird für den Motor von Lenze (m550 Drehstrommotor M55AP112M045F0ECT mit Inverter 8400 motec 7,5/400-3)

entschieden. Es liegt darin, dass der Motor und Inverter von Lenze schon komplette zusammengebaut. Ein paar wichtige technische Daten sind wie Tabelle 3-9 zu sehen. Mehr Informationen werden in Anhang von Hersteller bereitgestellte technische Dokument gefunden.

Parameter	Wert	Parameter	Wert
Elektrische Leistung	7.35 kW	Nenndrehzahl	2565 min ⁻¹
Nenndrehmoment	27.2 Nm	Max. Drehzahl	4500 min ⁻¹
Max. Drehmoment	109 Nm	Pole	4-polige

Tabelle 3-9 Technische Daten des Motors von Lenze.

3.2.2 Kupplung

Wegen der verwendeten Radialkolbenpumpe ist eine elastische Kupplung zwischen Pumpe und elektrischen Motor auszuwählen. Auf Basis der vorliegenden Betriebsdaten wird die Kuppelung ROTEX GS 28 Stahl 92° 1A Ø28 – 1A Ø28 verwendet.

3.3 Elektrische Komponenten

Die benötigen elektrischen Komponenten sind der Drehzahlgeber, der RS232/CAN Converter und der Pegelwandler. Die Funktion der elektrischen Komponenten ist die Regelung, Anpassung des Signals und Auslesen von Systemdaten.

3.3.1 Drehzahlgeber

Um die Kennlinie zu messen, muss die Drehzahl des Motors bestimmt werden. Deshalb muss ein Drehzahlgeber im System eingesetzt werden. Aufgrund des Messbereichs der Drehzahl und das benötigen Signal zur Weiterverarbeitung in dSpace wird der Drehzahlgeber von der Firma ASM mit der Bezeichnung PMIS4-20-50-480KHZ-24VTTL-Z3-2M-S (Sensor Topf) und PMIR7-20-64-M-35 (Magnetisch Ring) von der Firma ASM verwendet [13]. Der magnetische Ring wird durch eine Presspassung auf die pumpenseitige Welle montiert.

3.3.2 Pegelwandler

Der Drehzahlvorgabe wird durch TTL Signal von dSpace vorgegeben. Da die Spannung von Ausgang der dSpace (TTL Signal) und Eingang von dem Motor (HTL Signal) unterschiedlich ist, ist Pegelwandler dazwischen einzusetzen. Die wichtigen technischen Daten der Ausgänge von dSpace und Eingänge des Motors sind in Tabelle 3-10 und Tabelle 3-11 zu sehen.

Parameter		Wert	
		Min.	Max.
Eingang Spannung	Hoch	2.0 V	5.0 V
	niedrig	0 V	0.8 V
Ausgang Spannung	Hoch	2.4 V	5.0 V
	niedrig		
Eingangsstrom			± 13 mA
Ausgangsstrom			0.5 mA

Tabelle 3-10 Ausgänge des dSpace-Box [14].

Klemme	Elektrische Daten	
Digitale Eingang	LOW-Pegel	(0...5) V
	HIGH-Pegel	(15...30) V
	Eingangsstrom	8 mA pro Eingang (24V)
	Max. Eingangsfrequenz	10 kHz
Digitale Ausgang	LOW-Pegel	(0...5) V
	HIGH-Pegel	(15...30) V
	Ausgangsstrom	Max. 50mA pro Ausgang (externer Widerstand > 480 Ω bei 24 V)

Tabelle 3-11 Schnittstellen des Pegelwandlers [15].

Nach den beiden technischen Daten wird die Pegelwandler von der Firma LED mit Optokoppler 24VDC-500 kHz ausgewählt.

3.3.3 CAN Bus/RS232 Converter

Um den Wirkungsgrad der Radialkolbenpumpe zu bestimmen, ist es notwendig, das aktuelle Drehmoment zu messen. Es gibt im Motor internes aktuelles Moment, das aus dem aktuellem Motorstrom ermittelt wird und nur näherungsweise dem Drehmomentistwert entspricht. Es ist nur möglich, durch das CAN-Bus das aktuelle Drehmoment aus dem Motor auszulesen. Die CAN-Bus-Schnittstelle kann in dSpace aber nur verwendet werden, wenn das entsprechende Software (kosten ca. 500€) gekauft wird. Aus diesem Grund wird die Rs232-Schnittstelle des Systems verwendet und das CAN-Signal mithilfe eines Konverters gehandelt.

4 Konstruktion und Inbetriebnahme des Leistungsverorgungsystems

Nach der Auswahl der Komponenten wird Konstruktion und Inbetriebnahme für das Leistungsverorgungssystem durchgeführt.

4.1 Anforderungen

Aufgrund der von Daimler angebotenen technischen Daten der Pumpe wird die folgende Anforderung der Konstruktion erstellt. Die vollständige Anforderungsliste ist Tabelle 4-1 aufgestellt.

Gliederung	Art	Nr.	Bezeichnung	Erläuterung
Geometrie	FF	1	Maximal auftretender Volumenstrom	$Q = 12 \text{ l/min}$
	FF	2	Maximal auftretender Druck	$p_{\max} = 200 \text{ bar}$
	FF	3	Maximal auftretender Drehmoment	$M_{\max} = 21.3 \text{ Nm}$
	FF	4	Maximal auftretender Leistung	$P_{\min} = 5 \text{ kW}$
Allgemein	FF	5	Drucksensor, Drehzahlgeber einsetzbar	
	ZF	6	Risiko	Mögliche gering
	ZF	7	Dichtheit	
	ZF	8	Montage	Möglich einfach
	ZF	9	Kosten	Möglich gering
	FF	10	Sicherheit	Elektrische und Mechanische Schutz
	FF	11	Einsatz mit aLF möglich	
	ZF	12	Montage	so einfach wie möglich

Tabelle 4-1 Anforderungsliste der Konstruktion der ABC Pumpe.

4.2 Systematik der hydraulischen Schaltung der Leistungsverorgung

Das hydraulische Leistungsverorgungssystem ist im Bild 4-1 dargestellt. Das Bild 4-1 zeigt den hydraulischen Schaltungsplan und die Bezeichnung der einzelnen Komponenten der Leistungsverorgung.

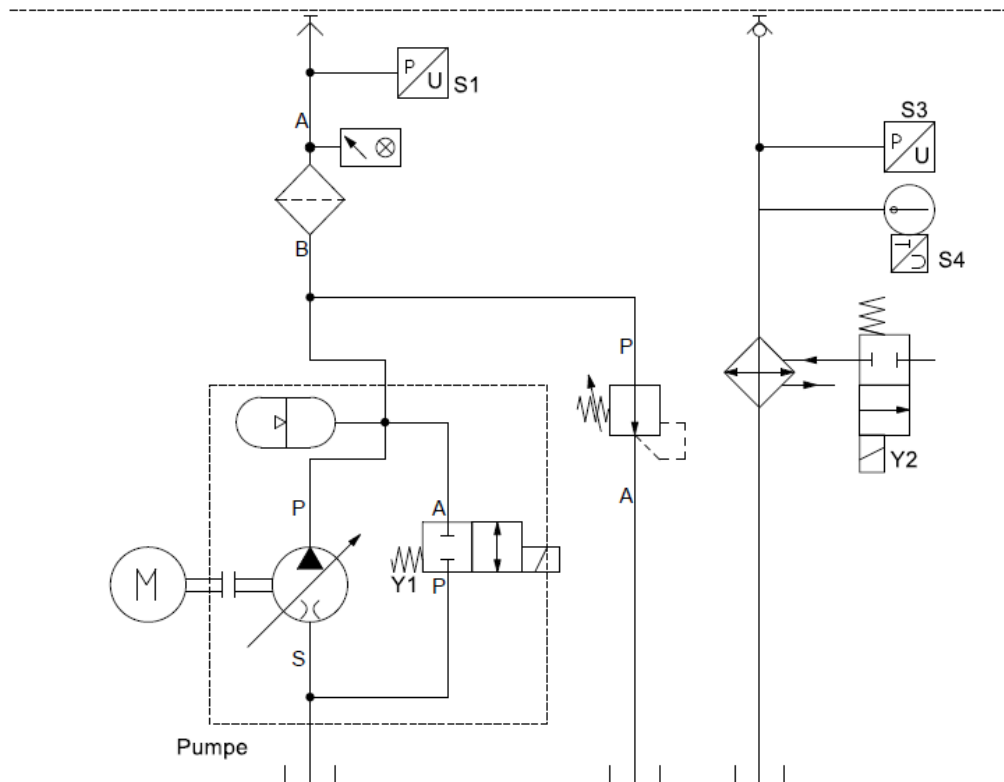


Bild 4-1 Hydraulischer Schaltplan des Leistungsverorgungsystems.

Die Radialkolbenpumpe wird direkt durch den elektrischen Motor angetrieben. Das Öl wird durch die Radialkolbenpumpe von Tank über den Filter gepumpt. Dazwischen wird ein zusätzliches einstellbares mechanisches Überdruckventil eingesetzt, dessen Grenzdruck als 185 bar eingestellt wird. Hinter dem Filter wird der Antrieb der aktiven Luftfeder (Verbraucher) angeschlossen. Im Rücklauf befindet sich der Wärmetauscher.

4.3 Konstruktion

4.3.1 Gesamtübersicht des Prüfaufbaus

Die gesamte Systemübersicht ist im folgenden Bild 4-2 zu sehen. Alle Komponenten des Leistungsverorgungsystems werden mit Nutenstein (ø12 mm) auf dem Tisch festgeschraubt. Die ABC-Radialkolbenpumpe wird über die mechanische Kupplung durch den Motor antrieben. Die wichtige Komponenten sind in Tabelle 4-2 angegeben. Durch die Schnellkupplung kann das Leistungsverorgungssystem Variabel eingesetzt werden.

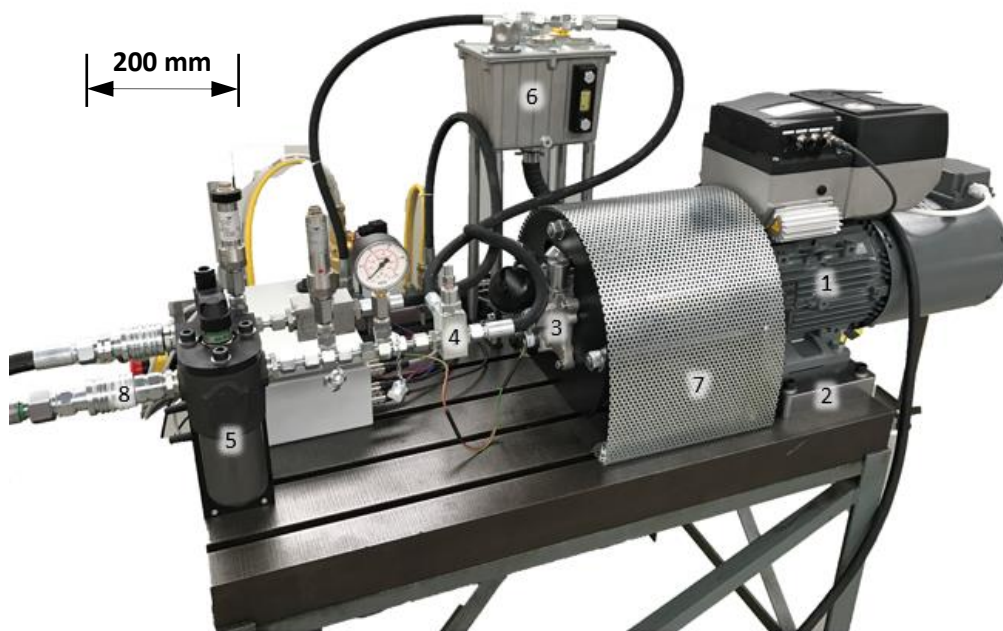


Bild 4-2 Leistungsverorgungssystem.

Pos-NR.	Benennung	Anzahl
1	Motor	1
2	Motor Fuß	1
3	Radialkolbenpumpe	1
4	Überdruckventil	1
5	Filter	1
6	Tank	1
7	Wellenschutz	1
8	Schnellkupplung	2

Tabelle 4-2 Stückliste des Leistungsverorgungsystems.

4.3.2 Pumpenhalterung

Das ganze Konstruktion des Leistungsverorgungsystems ist wie Bild 4-3 und Bild 4-4 zu sehen. Der Motor wird durch den Motorfuß am Tisch festgeschraubt. Die Pumpe wird mit der Pumpenhaltung und zwei Schrauben direkt an Pumpeflansch festgeschraubt. Auf der Welle des Motors sitzt direkt die Kupplung. Diese ist pumpenseitig mit einem Adapter an der Pumpe befestigt. Der Magnetring des Drehzahlgebers ist direkt mit einer Presspassung an diesem Adapter befestigt. Alle technischen Zeichnungen werden im Anhang gefunden.

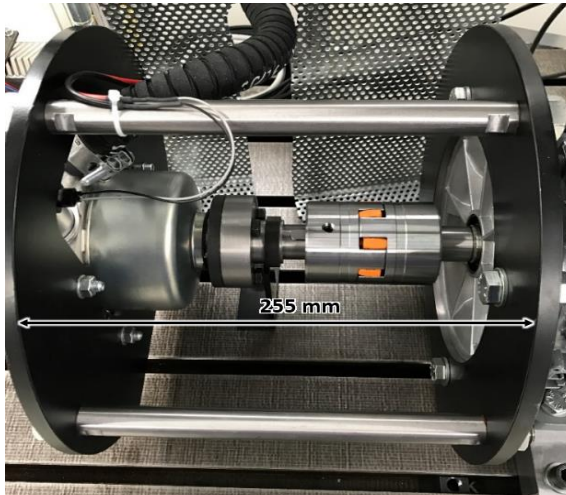


Bild 4-3 Pumpenhalterung am Motor.

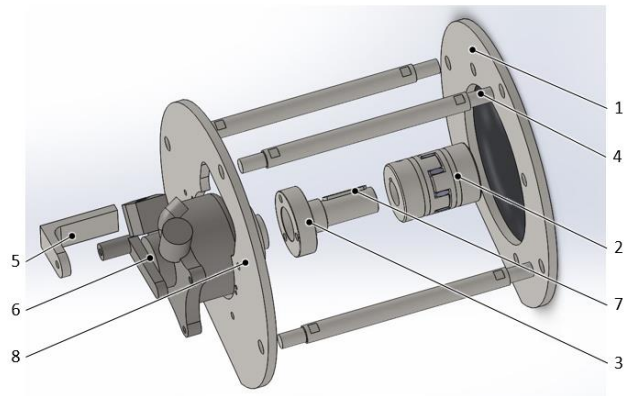


Bild 4-4 Explosionsdarstellung der einzelnen Bauteile im CAD.

Zeichnung	Name	Anzahl
1	motorseitiger Flansch	1
2	Kupplung	1
3	Wellenadapter	1
4	Strange	3
5	Pumpenhalter	1
6	Radialkolbenpumpe	1
7	Passfeder	1
8	Pumpenseitiger Flansch	1

Tabelle 4-3 Stückliste der einzelnen Bauteil der Pumpenhalterung.

4.3.3 Montagehilfe zur Ausrichtung der Pumpe

Bei der Montage der Radialkolbenpumpe wird zusätzliche Ausrichtungshilfe verwendet, damit sichergestellt werden kann, dass die Pumpe möglichst konzentrisch zur Welle des Motors ausgerichtet ist. Nach der Positionierung wird die Radialkolbenpumpe durch drei Schrauben mit dem Pumpenflansch festgehalten. Die Ausrichtungshilfe wird über Stifte am pumpenseitigen Flansch ausgerichtet und mit Schrauben befestigt. Danach wird die Pumpe an der Ausrichtungshilfe ausgerichtet und am Flansch befestigt. Nach der Montage werden die zwei Schrauben, die die Ausrichtungshilfe befestigen, wieder demontiert.

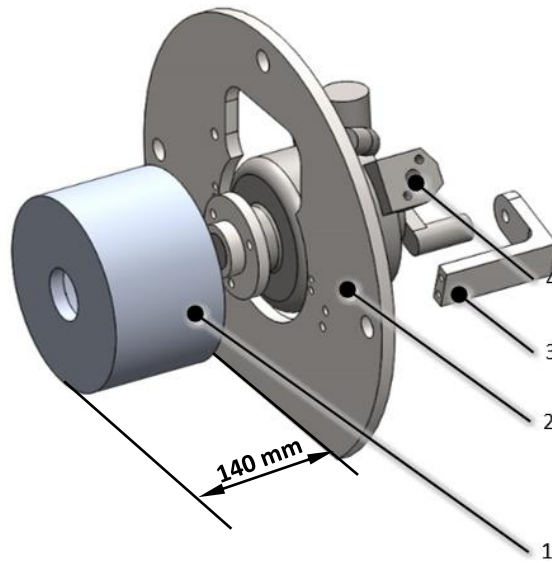


Bild 4-5 Ausrichtung Hilfe.

Zeichnung	Name
1	Ausrichtungshilfe
2	pumpenseitiger Flansch
3	Pumpenhalterung
4	Radialkolbenpumpe

Tabelle 4-4 Montagehilfe zur Ausrichtung der Pumpe.

4.3.4 Filterhalterung

Die Schnellkupplung wird in der Filterhalterung integriert. Die Filterhalterung wird durch zwei Nutsteinen auf dem Tisch festgehalten. Wenn das gesamte Leistungsverorgungssystem mit der aktiven Luftfeder eingesetzt wird, kann der Anschluss direkt über die Schnellkupplungen erfolgen.

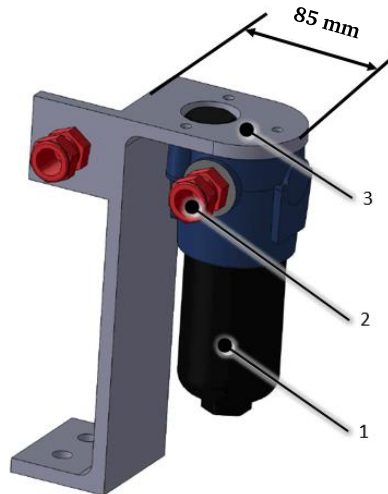


Bild 4-6 Filterhalterung.

Zeichnung	Name	Anzahl
1	Filter	1
2	Schnellkupplung	2
3	Filterhalterung	1

Tabelle 4-5 Stückliste der Filterhalterung.

4.3.5 Halterung des Wärmetauschers

Um den Wärmetauscher auf den Tisch zu befestigen, wird eine Wärmetauscherhalterung verwendet. Die Halterung besteht aus den drei Teilen nämlich Grundplatte, Mittelplatte und Klemmenplatte. Die Grundplatte und die Mittelplatte werden mit zwei Nutenstein auf dem Tisch festgeschraubt. Dann wird der Wärmetauscher durch zwei Klemmenplatten auf der Grundplatte befestigt.

4.4 Numerische Festigkeitsberechnung der Pumpenhalterung

Um den sicheren Betrieb der Halterung sicherstellen zu können, ist wichtig, vor der Fertigung die Fertigkeit aller mechanischen Komponenten zu berechnen.

4.4.1 Randbedingungen

Die ganze Konstruktion ist in Bild 4-7 zu sehen, die ausführlichen Einspannungen und Lasten der Simulation in Tabelle 4-6 und Tabelle 4-7. Bei der Einspannung wird eine Einspannung auf der zylindrischen Fläche des Motorflansches eingefügt. Als Last wird ein Drehmoment von 22 Nm auf die Motorwelle gegeben.

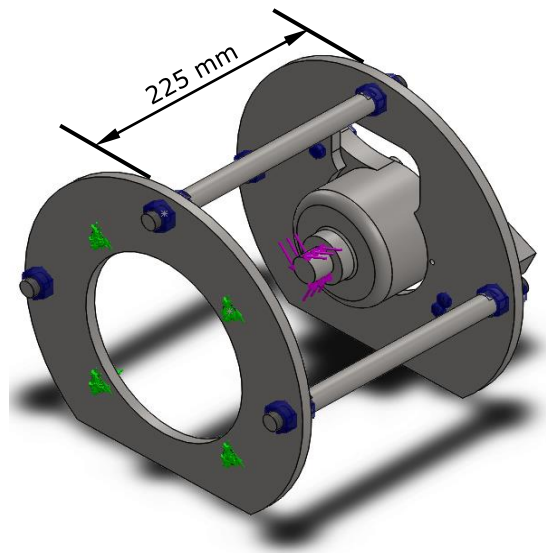


Bild 4-7 Simulationsmodell zur Festigkeitsberechnung der Pumpenhalterung.

Einspannungen:

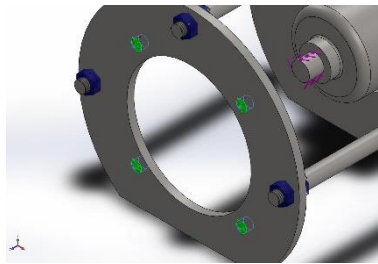
Einspannungsname	Einspannungsbild	Details
Zylindrischen Flächen		Elemente: 4 Flächen Type: auf zylindrischen Flächen Translation: 0, 0 Rad

Tabelle 4-6 Einspannung der Simulation.

Lasten:

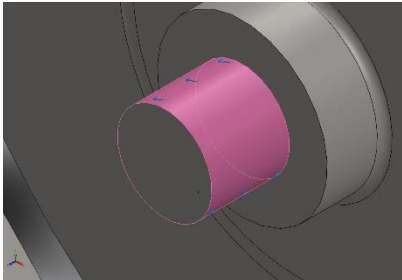
Lastname	Bild	Details
Drehmoment		Type: Drehmoment Wert: 22 Nm Referenz: Welle der Pumpe

Tabelle 4-7 Last der Simulation.

4.4.2 Ergebnisse der Festigkeitsberechnung

Die Simulationsergebnisse sind in Bild 4-8 (Von Mises-Spannung) und Bild 4-9 (Verschiebung) gezeigt.

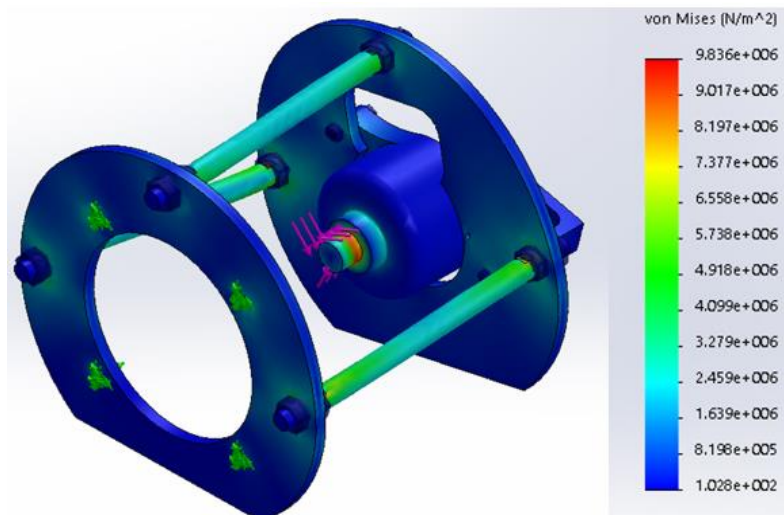


Bild 4-8 Berechnete Vergleichsspannung an der belasten Pumpenhalterung.

1. Verschiebung:

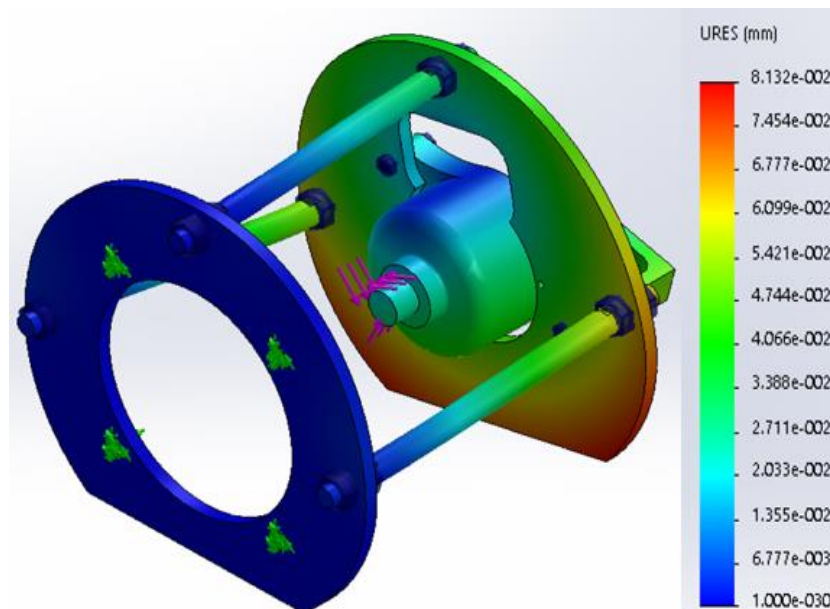


Bild 4-9 Berechnete Verschiebung an der belasteten Pumpenhalterung.

Aus der Simulationsergebnis der Spannung wird festgestellt, dass die maximale Spannung (ca. $6.5 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$) an der Verbindungsstange auftritt. Die maximale Verschiebung ist an der Ecke des Pumpenflanschs ungefähr $7.5 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$. Somit konnte die Fertigkeit gezeigt werden.

4.5 Inbetriebnahme der hydraulischen Leistungsversorgung

4.5.1 Motor

4.5.1.1 Auswahl der Regelungsart

Es gibt vier verschiedene Regelungsart von diesem Motor zur Verfügung, nämlich U/f-

Kennliniensteuerung (VFCplus), U/f-Kennliniensteuerung energiesparend(VFCplusEco), U/f-Regelung+Geber (VFCplus+Geber), Sensorlose Vectorregelung(SLVC) [17].

Regelungsart	Vorteil	Typische Anwendungsbereich
VFCplus	Einfach	<ul style="list-style-type: none"> • Bei konstanter Belastung • Bei Schweranlauf • Bei Drehmomentbegrenzung • Einfache Hubwerke
VFCplusEco	<ul style="list-style-type: none"> • Gute Robustheit • Einfache Parametrierung • Hohe Energieeffizienz • Gleiche Drehzahlgenauigkeit und Maximalmomente wie bei VFCplus 	<ul style="list-style-type: none"> • Pumpe und Lüfter Antriebe mit quadratischer Lastkennlinie • Horizontale Fördertechnik
VFCplus+Geber	<ul style="list-style-type: none"> • Gute stationäre Genauigkeit der Drehzahl • Geringerer Parametrieraufwand im Vergleich zur sensorlosen Vectorregelung (SLVC) • Verbesserte Dynamik im Vergleich zur U/f-Kennliniensteuerung ohne Rückführung oder zur sensorlosen Vectorregelung (SLVC). • Eignung für Gruppenantriebe 	<ul style="list-style-type: none"> • Bei konstanter Belastung • Bei Schweranlauf • Bei Drehmomentbegrenzung • Bei fache Hubwerke • Bei Schweranlauf • Bei Drehzahlregelung • Bei hoher Dynamik für z.B. Positionier- und Zustellantriebe • Auf-/Abwickler mit Tänzerlageregelung
SLVC	<ul style="list-style-type: none"> • ein höheres maximales Drehmoment über den gesamten Drehzahlbereich • eine höhere Drehzahlgenauigkeit, • eine höhere Rundlaufgüte, • einen höheren Wirkungsgrad, • die Begrenzung des maximalen motorischen und generatorischen Drehmoments im drehzahl-gestellten Betrieb. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bei Schweranlauf • Bei Begrenzung des Drehmoments

Tabelle 4-8 Übersicht der Reglungsarten des Motors.

Aufgrund des Schweranlauf des Systems und Drehmomentbegrenzung wird Reglungsart ‚VFCplus‘ für das Leistungsverorgungssystem verwendet.

4.5.1.2 Parametrierung des Motors

Da der gleiche Motor und Inverter bei verschiedenen Frequenz betrieben werden kann, sind die Grundparameter des Motors zu überprüfen. Es muss sichergestellt sein, dass alle Parameter gemäß der Vorgaben aus dem Datenblatt (siehe Tabelle 4-9) eingestellt sind.

Parameter	Wert	Einheit	Beschreibung
C81	7.35	kW	Motor-Bemessungsleistung
C84	330	mΩ	Motor-Statorwiderstand
C85	1.3	mH	Motor-Statorstreuinduktivität
C87	2565	pro Min	Motor-Bemessungsdrehzahl
C88	14	A	Motor-Bemessungsstrom
C89	87	Hz	Motor-Bemessungsfrequenz
C90	400	V	Motor-Bemessungsspannung
C91	0.84		Motor-Cosinus Phi
C92	73.3	mH	Motor-Hauptfeldinduktivität

Tabelle 4-9 Grundparameter des Motors [16] [17].

Die wichtigen Parameter des elektrischen Motors sind in Tabelle 4-10 beschrieben.

Parameter	Wert	Beschreibung
C00006	6	Motorregelungsart
C00115/1	3	DI 1: Drehzahlvorgabe als Frequenzeingang DI 2: Drehrichtungsvorgabe
C00701/17	1	Drehzahlgeberauswahl
C00011	2500	Bezugsdrehzahl

Tabelle 4-10 Parameter für Reglungsart.

Der elektrische Motor kann auch alle Parameter der Voreinstellung speichern. Wenn der Motor nicht mehr drehen oder irgendwelches Problem auftauchen würden, können so die allen Parametereinstellungen wieder auf den Motor geladen werden. Dann muss der Motor wieder funktionieren.

Parameter speichern: Parameter C00002/7 auf 1 stellen.

Funktion: Parameterersatz 1 wird netzausfallsicher im Memory Modul gespeichert.

Vorstellung laden: Parameter C00002/2 auf 1 stellen.

Funktion: Parameterersatz 1 wird vom Memory Modul geladen.

Alternative Möglichkeit ist, durch die Adapter von Lenze alle von im Computer gespeicherten Parameter in den Motor übergeben. Alle Parameter sind als Projekt „Leistungsversorgungssystem ABC“ im Prüfstandcomputer gespeichert geworden.

4.5.1.3 Fehlermeldungen und Fehlerbehebung

Der Status des Motors ist über die zweifarbige LED-Anzeige auf der Geräteoberseite direkt zu erkennen. Die Bedeutung der LED ist in der folgenden Tabelle 4-11 dargestellt.

Grün „DRIVE READY“	Rot „DRIVE ERROR“	Beschreibung
AUS	AUS	AUS oder Initialisierung aktiv
LED blitzt ca. alle 1.25 Sekunden einmal kurzzeitig auf	AUS	Sicher Abgeschaltetes Moment aktiv
LED blitzt ca. alle 1.25 Sekunden zweimal kurzzeitig auf	AUS	Gerät ist einschaltbereit
LED blinkt im 1-Sekunden-Takt	AUS	Gerät ist eingeschaltet
LED ist dauerhaft an	AUS	Motordatenidentifikation/Betrieb
LED blitzt ca. alle 1.25 Sekunden zweimal kurzzeitig auf Oder LED blinkt im 1-Sekunden-Takt Oder LED ist dauerhaft an	LED blitzt ca. alle 3 Sekunden einmal kurzzeitig auf	Der Antriebsregler ist einschaltbereit, eingeschaltet bzw. der Betrieb ist freigegeben und es liegt eine Warnung vor.
AUS	LED blitzt ca. alle 1.25 Sekunden zweimal kurzzeitig auf	Störung aktiv
AUS	LED blinkt im 1-Sekunden-Takt	Fehler aktiv

Tabelle 4-11 Bedeutung der Status-LED-Anzeigen [17].

Hier werden ein paar Beispiele bei der Anwendung der möglichen ausgeführten Fehler und dazu die möglichen Abhilfen gezeigt.

Kennzeichen	Ursache	Abhilfe
oC9: Ixt Überlast	Überlastprüfung des Gerätes hat ausgelöst. • Ansprechschwelle = 100% Ixt (einstellbar in C00123)	• Überprüfung die Last von dem Motor • Überprüfung des Parameters C00604
oH1: Übertemperatur Kühlkörper	Die Kühlkörpertemperatur ist größer als die feste Grenztemperatur (90 °C)	• Antriebsregler reinigen. • Ggf. Lüfter reinigen oder austauschen. • Für ausreichende Kühlung des Gerätes sorgen.
oC7: Überstrom des Motors	Die Maximalstromüberwachung hat ausgelöst.	• Dimensionierung der Last in Bezug auf die installierte • Geräteleistung prüfen und ggf. korrigieren.

Tabelle 4-12 Mögliche Fehler beim Betrieb des Motors.

Nachdem die Fehlerursuche behoben wurde, ist eine Fehlermeldung mit der Reaktion „Fault“, „Trouble“, „WarnungLocked“ zurückzusetzen. Es gibt viele Möglichkeiten, damit die Fehlermeldung zurückgesetzt werden kann.

1. Der Parameter C00002/19 auf 1 stellen.
2. Kommando „ResetFault“ über Feldbus: Im Steuerwort das Bit 7 = 1 einstellen.

Es ist einfacher und schneller, über die erste Möglichkeit die Fehlermeldung zurückzusetzen.

4.5.1.4 Drehzahl- und Drehrichtungsvorgabe

Die Drehzahl und die Drehrichtung werden über die Digitaleingänge DI1 und DI2 des Motors vorgegeben. Die Eingangsklemmen DI1 und DI2 lassen sich bei Bedarf im Parameter C00115/1 konfigurieren, nämlich DI1 als Drehzahlvorgabe und DI2 als Drehrichtung. Die über den digitalen Signaleingang 1 ausgelesene Drehzahl wird als Frequenzsignal ausgewertet. Die Drehzahl ist proportional zur der Frequenz des HTL Signals. Der Drehzahlrichtung wird als Zustandssignal (24V oder 0V) betrachtet.



Bild 4-10 Signalfluss der Motordrehzahlvorgabe.

Im Simulink wird der Block mit dem Namen „DS1103SL_DSP_D2F“ ein PWM Signal erzeugt, dessen Frequenz manuell eingestellt werden kann. Im Simulink wird hierzu das in Bild 4-11 dargestellte Modell verwendet.

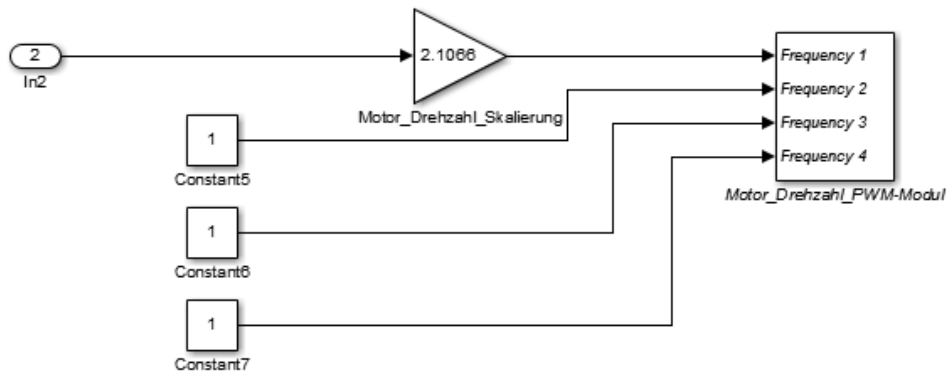


Bild 4-11 dSpace Block für den Motor.

Der Faktor „Motor_Drehzahl_Skalierung“ wird experimentell bestimmt. Der Zusammenhang zwischen Soll- und Ist-drehzahl ist in Bild 4-12 dargestellt. Jeder Messpunkt im Diagramm zeigt den Mittelwert aus drei Messungen. In guter Näherung Grundsätzlich ist der Drehzahl-Istwert gleich dem Drehzahl-Sollwert. Die veränderliche Belastung des Motors erklärt die Abweichungen, diese sind kleiner als 8%.

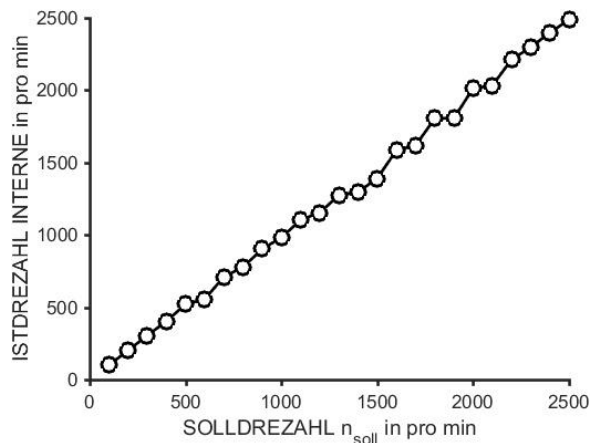


Bild 4-12 [183] Kalibration Drehzahlvorgabe.

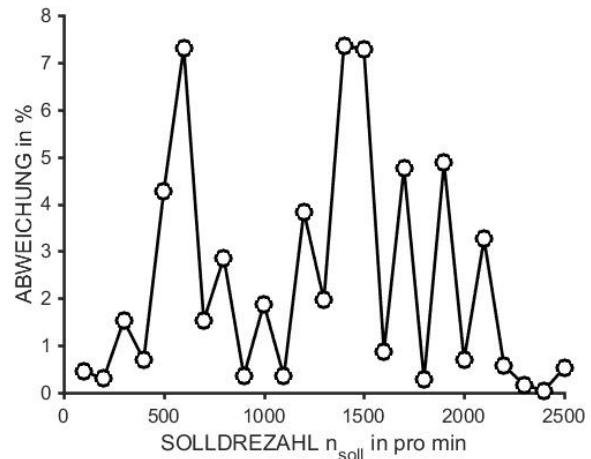


Bild 4-13 [183] Abweichung der Solldrehzahl und Ist-drehzahl in Prozent.

4.5.1.5 Auslesen des Motordrehmoments

Die Kommunikation Unit des Motors basiert auf der CANopen Norm. CANopen ist die Weiterentwicklung des Systembusses (CAN) mit den folgenden Eigenschaften:

- Anzahl der parametrierbaren PDO-Kanäle:
 - max. 2 Transmit-PDOs (TPDOs) mit 1 ... 8 Bytes (einstellbar)
 - max. 2 Receive-PDOs (RPDOs) mit 1 ... 8 Bytes (einstellbar)
- Überwachung der RPDOs auf Datenempfang
- Telegrammzähler für SDOs und PDOs
- Volle Kompatibilität nach CANopen DS301, V4.02.

Für die Übertragung der Prozessdaten steht PDO (process data object) zur Verfügung. SDO (service data object) wird für die Änderungen im Objektverzeichnis und für Statusabfragen

verwendet. Die ausführlichen Informationen können in Daten Blätter des Motors gefunden werden [18].

Die Einstellung der Motorparameter für die CAN-Bus-Schnittstelle ist in Tabelle 4-13 zu sehen.

Parametername	Einstellung	Bedeutung
C00350	1	CAN-Knotenadresse
C00352	1	Slave oder Master CAN Teilnehmer
C00356/1	3000	Verzögerung beim Statuswechsel von "Boot-up" nach "Operational"
C00356/4	10	Zeit bis zum ersten Senden von CANx_OUT im Zustand "Operational"
C00620/020	56	Ausgabe auf CAN1 wOUT1: aktuelles Drehmoment
C00620/021	52	Ausgabe auf CAN1wOUT2: aktuelles Drehzahl
C00351	5	CAN Baudrate Anforderung: Die CAN Baudrate muss kleiner als die doppelte Serial Interface Baudrate sein, um Verlust von ausgelesenen Daten zu vermeiden. [19]

Tabelle 4-13 Einstellung der Parameter für die CAN-Bus-Schnittstelle des Motors.

Durch die folgenden Parameter wird der Zustand der Kommunikation überprüfen [18].

Parametername	Sollwert	Bedeutung
C00359	0	CAN Status <ul style="list-style-type: none"> • 0 Operational • 1 Pre-Operational • 2 Reserviert • Reserviert • BootUp • Stopped • Reserviert • 7 Reset
C00364	0	CAN MessageError <ul style="list-style-type: none"> • Bit 0 No Error • Bit 1 StuffError • Bit 2 FormError • Bit 3 AckError • Bit 4 Bit1Error • Bit 5 Bit0Error • Bit 6 CRCError • Bit 7 Reserviert

Tabelle 4-14 Parameter für die Zustandskontrolle der CAN-Bus-Schnittstelle.

Die Daten werden über die Systems-Schnittstelle zwischen den Teilnehmern ausgetauscht. Die Daten besteht aus der Identifikation und den Daten selbst. Der Aufbau des CAN-Datentelegramms:

Start	Identifier	RTR bit	Controlfield	User date (0...8 Byte)	CRC sequence	CRC Delimiter	ACK Slot	ACK delimiter	END
1 Bit	11 Bit	1 Bit	6 Bit	<ul style="list-style-type: none"> • Network management • Process data • Parameter data 	15 Bit	1 Bit	1 Bit	1 Bit	7 Bit

Tabelle 4-15 Aufbau des CAN- Datentelegramms [18].

Drehmoment oder Drehzahl werden als 16-Bit Daten ausgegeben, die ins zwei 8-Bit nämlich H-bit und L-bit, als „User Date“ übertragen werden. Der Identifier und die Nutzdaten werden in folgenden Unter beschrieben. Die übrigen Signale beziehen sich auf die Übertragungseigenschaften des CAN-Telegramms (Tabelle 4-15), die im Rahmen dieser Dokumentation nicht beschrieben sind. Weitere Informationen darüber sind auf der Homepage der CAN-Nutzerorganisation CiA [23] zu finden.

Grundsätzlich basiert CAN-Kommunikation auf einem nachrichtenorientierten Datenaustausch zwischen einem Sender und vielen Empfängern. Dabei können alle Teilnehmer miteinander fast gleichzeitig kommunizieren. Um die Nachrichten zu steuern, d.h. welcher Teilnehmer die gesendeten Nachrichten empfangen soll, erfolgt über den Identifier und noch COB-ID genannt. Der Identifier setzt sich zusammen aus einem sogenannten Basis-Identifier und der Knotenadresse des anzusprechenden Teilnehmers:

$$\text{Identifier (COB-ID)} = \text{Basis-Identifier} + \text{Knotenadresse (Node-ID)} \quad \text{Gl. 4-1}$$

Jeder Teilnehmer hat eine eigene Knotenadresse. Für den Motor wird diese durch den Parameter C00350 oder Dip-Schalter eingestellt. Die Knotenadresse wird im gültigen Adressbereich (1 ... 63) eingestellt, in diesen Fall über den Parameter C00350 auf 1.

Vergabe der Identifier

Der Systembus ist nachrichtenorientiert und nicht teilnehmerorientiert. Jede Nachricht hat eine eindeutige Kennung, den Identifier. Bei CANopen wird eine Teilnehmerorientierung dadurch erreicht, dass es für jede Nachricht nur einen Sender gibt. Die ausführlichen Informationen sind im folgenden Bild dargestellt. Das aktuelle Drehmoment wird durch TPDO1 ausgelesen, dessen CANopen-Base ID Dez 384 (Hex 180) ist. Nach der Gl. 4-1 wird die Identifier COB-ID als Dez 384 (Hex 180) eingestellt. TPDO1 ist die Prozessdaten, die von Motor ins CAN-Bus ausgegeben wird. Im Gegensatz dazu ist RPDO1 die Prozessdaten, die von CAN-Bus durch Motor ausgelesen wird.

Objekt		Richtung		Lenze-Base-ID		CANopen-Base-ID	
		vom Gerät	zum Gerät	Dez	Hex	Dez	Hex
Netzwerkmanagement (NMT)				0	0	0	0
Sync ¹⁾				128	80	128	80
Emergency ¹⁾		●		128	80	128	80
PDO1 (Prozessdaten-Kanal 1)	TPDO1	●		384	180	384	180
	RPDO1		●	512	200	512	200
PDO2 (Prozessdaten-Kanal 2)	TPDO2	●		640	280	640	280
	RPDO2		●	641	281	768	300
SDO1 (Parameterdaten-Kanal 1)	TSDO1	●		1408	580	1408	580
	RSDO1		●	1536	600	1536	600
SDO2 (Parameterdaten-Kanal 2)	TSDO2	●		1472	5C0	1472	5C0
	RSDO2		●	1600	640	1600	640
Heartbeat		●		1792	700	1792	700
Boot-Up		●		1792	700	1792	700

Bild 4-14 Adresse der CANopen Daten [18].

Aktuelles Drehmoment auslesen

Der Drehmomentistwert wird in 0.01 Nm vorgegeben. Es besteht die Möglichkeit, im Antriebsregler alle Drehmoment bezogene Signale auf die Parameter C00057 einzustellen.

- Die Art der Umrechnung ist bei Bedarf in C01354/2 anzupassen
- Optional ist über einen Parameter (C01353/2) einstellbaren Skalierungsfaktor noch eine zusätzliche Skalierung durchzuführen.

Die Gleichung für die Normierung des Drehmomentistwerts ist wie Gl. 4-2 zu beschreiben.

$$M_{\text{ist}} = M_{\text{App}} \frac{M_{\text{max}}}{0.01 \text{ Nm}} \frac{1}{16384 \cdot 100} \frac{1}{2^n} \quad \text{Gl. 4-2}$$

Zeichen	Name	Beschreibung	Einheit
M_{ist}	Drehmoment	Drehmoment Istwert	Nm
M_{App}	Drehmoment	direkt durch CAN BUS ausgelesenen Drehmoment	Nm
M_{max}	Maximalmoment	Bezugsgröße für drehmomentbezogenen Signale Es ist im Parameter C00057 zu sehen. Bei dieser Anwendung: C00057 = 54.25	Nm
n	ACDrive: Drehmoment- skalierung	Es ist mit dem Parameter C01353/2 einzustellen. Skalierungsfaktor (-128 ... 127) Bei dieser Anwendung: C01353/2 = 0	1

Tabelle 4-16 Motorparameter zum Auslesen der Istdrehmoments.

Bei dieser Anwendung:

$$M_{\text{ist}} = M_{\text{App}} \frac{7903}{0.01 \text{ Nm}} \frac{1}{1638400} \frac{1}{2^0} = 0.004824 M_{\text{app}} \text{ Nm} \quad \text{Gl. 4-3}$$

Die Gleichung Gl. 4-3 wird in Kapitel 4.5.2.3 bei der Berechnung des Drehmoments anzuwenden.

Aktuelle Drehzahl auslesen

Der Drehmomentistwert wird in 0.1 min^{-1} vorgegeben. Es kann im Antriebsregler alle Drehzahl bezogene Signale im Parameter C00011 eingestellt werden.

- Die Art der Umrechnung ist bei Bedarf in C01354/2 anzupassen
- Für die Applikation ‚AC Drive Profil‘ ist eine Umrechnung von min^{-1} in % entsprechend folgender Gleichung voreingestellt.
- Optional ist über einen Parameter (C01353/1) einstellbaren Skalierungsfaktor noch eine zusätzliche Skalierung durchzuführen.

Die Gleichung für die Normierung des Drehzahlwertes ist durch Gl. 4-4 zu beschreiben.

$$n_{\text{ist}} = n_{\text{App}} \frac{n_{\text{max}}}{\text{min}^{-1}} \frac{1}{16384} 2^n \quad \text{Gl. 4-4}$$

Zeichen	Name	Beschreibung	Einheit
n_{ist}	Drehzahl	Drehzahlwert	min^{-1}
n_{App}	Drehzahl	Direkt Drehzahl durch CAN BUS ausgelesen	min^{-1}
n_{max}	Bezugsdrehzahl	Bezugsgröße für drehzahlbezogenen Signale Es ist mit dem Parameter C00011 einstellen. Bei dieser Anwendung: C00011 = 2500	min^{-1}
n	ACDrive: Drehmoment- skalierung	Es ist mit dem Parameter C01353/1 einstellen. Skalierungsfaktor (-128 ... 127) Bei dieser Anwendung: C01353/1 = 0	1

Bei dieser Anwendung:

$$n_{\text{ist}} = n_{\text{App}} \frac{2500 \text{ min}^{-1}}{16384} 2^0 = 0.2197 n_{\text{App}} \text{ min}^{-1} \quad \text{Gl. 4-5}$$

Die Gleichung Gl. 4-5 wird in Kapitel 4.5.2.3 bei der Berechnung der Drehzahl anzuwenden.

4.5.2 CAN Bus/RS232 Converter

4.5.2.1 Elektrischer Anschluss

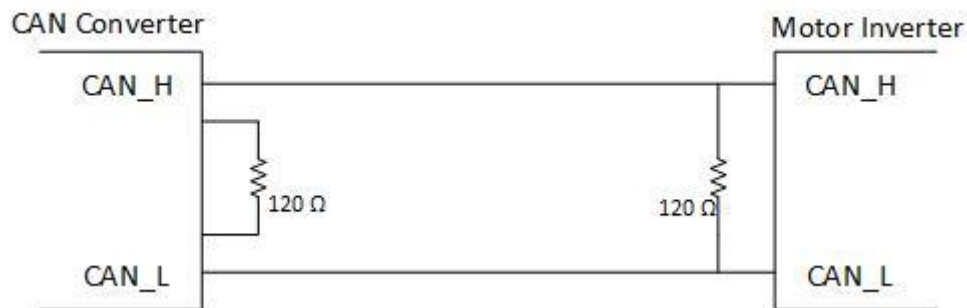


Bild 4-15 CAN Bus/RS232 Converter.

Bei Anwendung des CAN Bus/RS 232 Converters ist ein Widerstand von $120\ \Omega$ wie in Bild 4-15 einzusetzen. Auf der Motorseite ist ein Widerstand schon in dem Motor eingebaut. Außerdem soll die CAN_G nicht angeschlossen werden. Zudem muss die Baudrate von CAN berücksichtigt werden, d.h. je größer die Baudrate ist, desto kürzer muss das Kabel sein. Der Zusammenhang von Baudrate und Kabellänge ist aus Tabelle 4-17 zu entnehmen.

Baudrate	Länge des Kabels
1 Mbit/s	40 m
500 Kbit/s	110 m
250 Kbit/s	240 m
125 Kbit/s	500 m
50 Kbit/s	1.3 km
20 Kbit/s	3.3 km
10 Kbit/s	6.6 km
5 Kbit/s	13 km

Tabelle 4-17 Beziehung zwischen Baudrate und Länge des Kabels [18].

In der nachfolgenden Tabelle 4-18 ist die Bedeutung der Status LED des Converters erklärt.

Name	Zustand	Bedeutung
PWR	Ein	In Betrieb
	Aus	Keine Leistungsversorgung
COM	Flimmern	Bereit
CAN	Grün LED Flimmern	CAN Datenübertragung
	Rot LED	Fehler bei der Datenübertragung
COM und CAN	Beide flimmern	Im Einstellungsmodus

Tabelle 4-18 LED Funktionsweise des RS-CAN Bus Converters [19].

Die I/O-Maps des CAN-Bus und Serial Bus sind in Bild 4-16 und Bild 4-17 zu beschreiben.

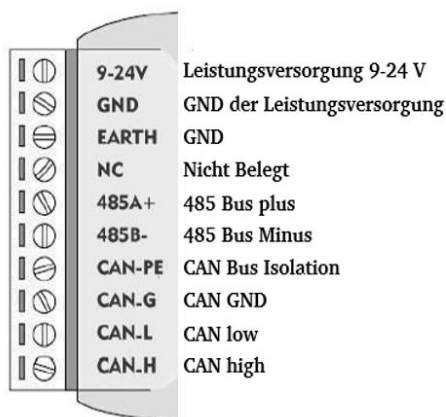


Bild 4-16 CAN-COM Anschluss [19].

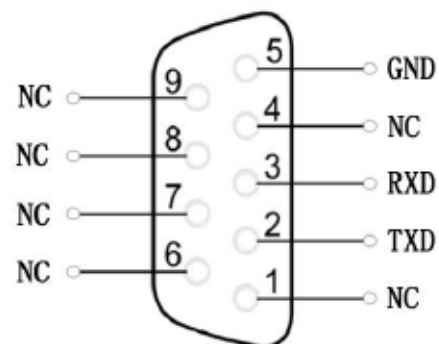


Bild 4-17 RS 232 Anschluss [19].

4.5.2.2 Einstellung des Converters

Vor der Anwendung müssen die Parameter des Converters mit der bereitgestellten Software eingestellt werden. Die Parameter des CAN-Buses und Serial Buses sind beide einzustellen. Bei der CAN-Bus Seite muss die Baudrate des CAN-Buses wie die des Motors sein. Zudem muss der Filter des Converters die Daten mit der richtigen Identifier COB-ID definieren. Für das Serial Bus muss die Baudrate, der Data-Bit, der Stop-Bit und die Parity wie in dSpace eingestellt werden. Die ausführlichen Informationen über die Parameter der Einstellung sind in Tabelle 4-20 dargestellt.

Interface	Parameter	Wert	Kommentar
Serial Bus Einstellung	Baudrate des Serial Bus	115200	Die muss größer als die Baudrate des CAN-Bus sein.
Serial Bus Einstellung CAN Bus Einstellung	Data Bit	8	Die Serial-Bus Einstellung von dSpace und dem Converter muss gleich sein.
	Stop Bit	1	Die Serial-Bus Einstellung von dSpace und Converter muss gleich sein.
	Parity	No	
	Baudrate des Serial Bus	20k	Die CAN-Bus Einstellung von Motor und Converter muss gleich sein.
CAN Bus Einstellung	Filter	Anfang Adresse: Hex 181 End Adresse: Hex 181	Nur das aktuelle Drehmoment Auslesen

Tabelle 4-19 Converter Einstellungsparameter.

Der Aufbau der Ausgänge wird in Tabelle 4-20 beschrieben.

Adresse	Adresse	Data1_L	Data1_H	Data2_L	Data2_H
Hex 01	Hex 81	Hex 00 (L-Bit des aktuellen Drehmoments)	Hex 00 (H-Bit des aktuellen Drehmoments)	Hex 00 (L-Bit der aktuellen Drehzahl)	Hex 00 (H-Bit der aktuellen Drehzahl)

Tabelle 4-20 Aufbau der seriellen Daten.

Der Aufbau des Serial-Bus-Datentelegramms ist in Tabelle 4-20 zu sehen. Alle Daten werden durch 8-Bit transponiert. Im Vergleich dazu wird die Daten des aktuellen Drehmoments und der aktuellen Drehzahl in 16-Bit dargestellt. Deshalb werden die Daten jeweils ins zwei 8-Bit Datenposition nämlich Data_L und Data_H verteilt, durch die CAN-Bus zu transportieren. Das Datentelegramm enthält die Daten der Adresse und zwei Daten, die durch Parameter (C00620) eingestellt werden können. Die Information der Adresse ist Identifier der Daten. Der Ausgang des Converters wird direkt durch dSpace ausgegeben und nach der Gl. 4-3 und Gl. 4-5 weiterverarbeitet.

4.5.2.3 Einstellungen in dSpace

Im Matlab/Simulink müssen alle Parameter für das Serial Interface richtig eingestellt werden. Das Interface und die richtigen Parameter sind in Bild 4-18 zu sehen.

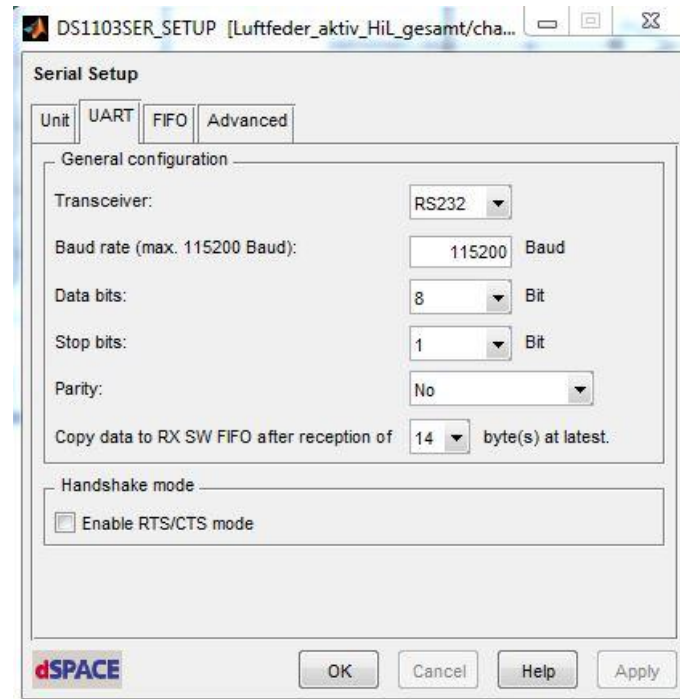


Bild 4-18 Serial Bus Interface Einstellung in Matlab/Simulink.

Der Ablauf der Datenverarbeitung ist im Simulink Bild 4-18 zu sehen.

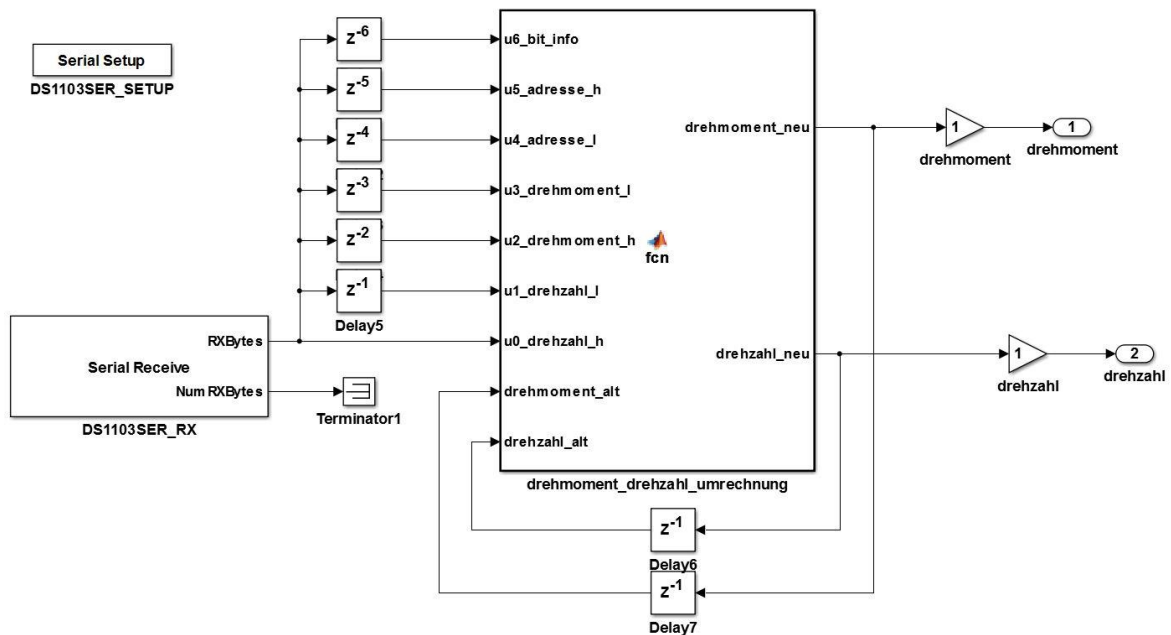


Bild 4-19 Simulink Block für Serial Interface.

Im vorliegenden Bild gibt es eine Matlab Funktion, durch das die aktuellen Werte der Drehzahl und Drehmoment ausgelesen werden. Der ausführliche Code ist im Anhang zu finden. Hier werden nur einige paar wichtige Teil erklärt.

Wie in Bild 4-19 beschrieben, werden über das Serial Bus die Drehzahl und das Drehmoment ausgelesen. Die Daten werden als 16-bit jeweils in High 8-bit und Low 8-bit transportiert. Deshalb werden die Daten durch die Relay Funktion direkt die Matlab Funktion gegeben.

```

if u5_adresse_h == 1 && u4_adresse_l==129
    %Drehmoment auslesen
    %Umrechnung von dezimal in Binär Zahlen
    Drehmoment_h_bin = dec2bin(u2_drehmoment_h,8);
    Drehmoment_l_bin = dec2bin(u3_drehmoment_l,8);
    % Zusammensetzen der Binären Drehmomente
    Drehmoment_bin = [Drehmoment_h_bin, Drehmoment_l_bin];
    %Umrechnung Binär in Dezimal Zahlen und Berücksichtigung Vorfaktor
    Drehmoment_dec = (5317*bin2dec(Drehmoment_bin))/(16384*100);

```

Bild 4-20 Code für Drehmomentauslesen über die RS-232-Schnittstelle.

Der Code in Bild 4-20 zeigt, beispielsweise aktuelles Drehmoment ausgelesen werden kann. Die Funktion der If-Schleife ist, den Anfang von den Daten zu bestimmen. Dann werden die Low 8-Bit Daten und High 8-Bit Daten verbunden. Schließlich wird die binäre Zahl in die Dezimalzahl umwandelt und durch die Gl. 4-3 umgerechnet.

4.5.3 Drehgeber

Der Drehgeber wird durch 24V Spannungsquelle versorgt und durch das Incremental Encoder Interface in dSpace die Daten ausgelesen. Die Anschlussbelegung ist in Tabelle 4-21 beschrieben.

Signalname	Kabelfarbe	Anschluss
Versorgung + (24 V)	Weiß	24V (Netzteil)
Versorgung GND (0 V)	Braun	GND (Netzteil)
B	Grün	Pin 4 (ds1103, Incremental Encoder Interface)
A	Gelb	Pin 2 (ds1103, Incremental Encoder Interface)
ERR	Grau	-
-	Rosa	-
Z	Blau	Pin 6 (ds1103, Incremental Encoder Interface)
-	Rot	-

Tabelle 4-21 Drehgeber Pin Belegung.

Es ist wichtig, dass der Abstand zwischen Magnetring und Sensor maximal 1.5 mm ist. Das Auswertungsmodell ist in Bild 4-21 beschrieben.

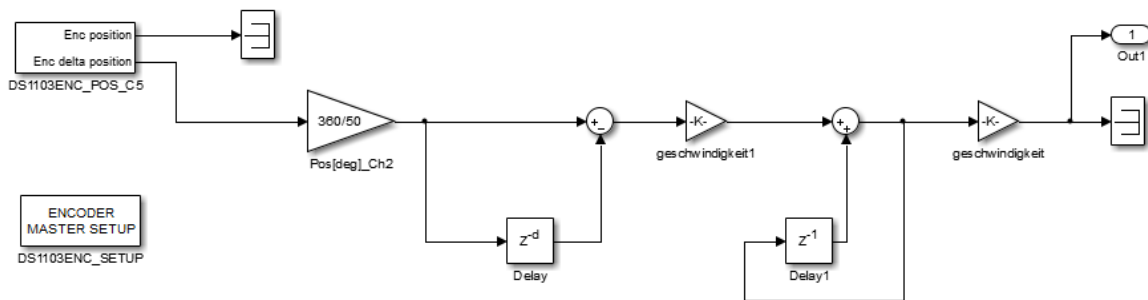


Bild 4-21 Auswertung Model von Drehzahlgeber.

Die Drehzahl ist der Mittelwert von tausenden Messpunkte, die durch die Relay Funktion erreicht wird. Deshalb ist der Faktor „geschwindigkeit1“ 0.001. Durch die Faktor „geschwindigkeit“ wird die Drehzahlsignal ins min^{-1} umgewandelt.

4.5.4 Kühlung

Das Öl wird durch den Gegenstrom des Wassers im Wärmetauscher gekühlt. Ein Temperaturregler wird in Simulink angebaut, um bei der Messung die Öltemperatur möglichst konstant zu halten.

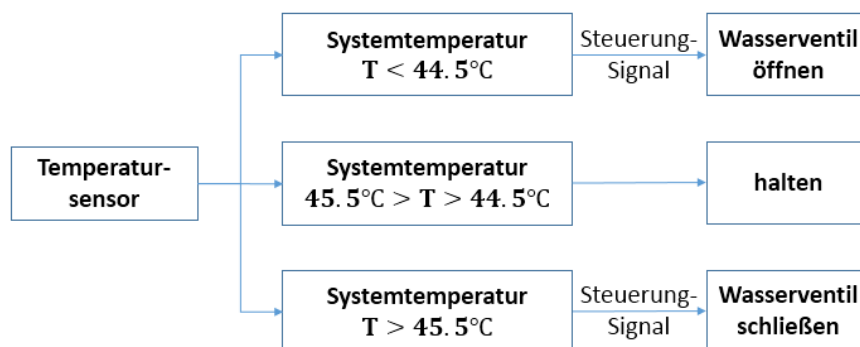


Bild 4-22 Ablaufdiagramm des Öltemperaturreglers.

Das Ablaufdiagramm des Öltemperaturreglers ist in Bild 4-22 zu sehen. Die Funktion ist schon in Kapitel 3.1.7 schon erklärt. Bild 4-23 zeigt den Temperaturverlauf bei einer Messung mit dem Systemdruck 150 bar. Jeder Messpunkt ist der Mittelwert von den Tausendmesspunkten. Der Verlauf bei einem Messpunkt ist in Bild 4-24 zu sehen. Alle Messungen werden bei der Temperatur $45^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ durchgeführt.

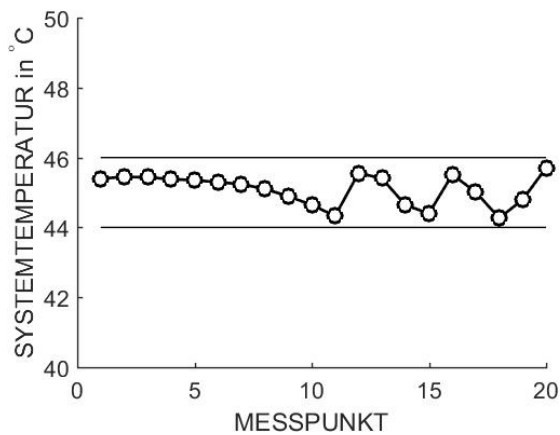


Bild 4-23 [182_M1] Verlauf von der Temperatur bei einer Messung.

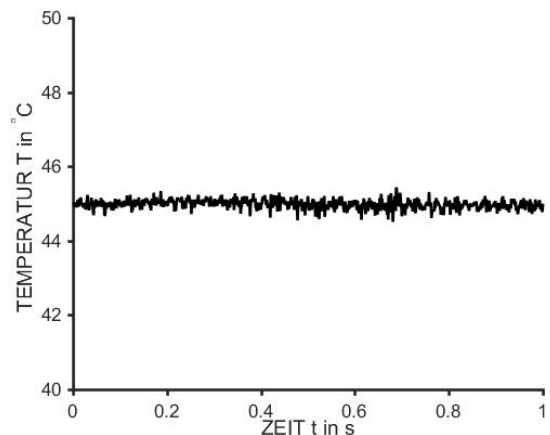


Bild 4-24 [182_M1] Verlauf von der Temperatur bei einem Messpunkt.

4.5.5 Elektrischer Schaltschrank

Zwischen Hauptschrank und Komponenten des Leistungsverorgungsystems wird ein kleiner elektrischer Schrank aufgebaut. In Bild 4-26 ist der Elektrische Schaltplan zu sehen. Bild 4-25 zeigt die Übersicht des elektrischen Schrankes. Die Schaltplannummer ist auf jede Komponente geklebt.

Da die das TTL Signal ins HTL Signal umwandelnden Pegelwandler (P1, P2) mit 24 V versorgt werden, wird ein Spannungswandler (P4) verwendet. Um Kurzschlüsse zu vermeiden, wird ein Leistungsschutz (F1) vor dem Spannungswandler mit maximal 6.4 A verwendet. Zudem wird ein Drehschalter (S1) genutzt. Der Lüfter (M1) in der Ecke des Schaltschranks, wird zur Kühlung des Leistungsmodells genutzt.

Das Überdruckventil, die Motorfreigabe und das Ventil der Kühlung werden mit digitalen Signalen gesteuert. Da die digitale Ausgangleistung der dSpace Box nicht für die Leistung der Komponenten ausreicht, wird die Stellspannung über das Netzteil zur Verfügung gestellt und über ein Relay geschaltet. Wie in Tabelle 4-22 und Bild 4-25 zu sehen ist, werden die Relays K1, K2 und K3 eingesetzt. Zudem wird das Steuerungssignal des Überdruckventils durch 12 V Signal gesteuert. Deshalb wird ein einstellbarer Spannungswandler (P3) verwendet, dessen Funktion die Umwandlung der 24 V Spannung in 12 V ist.

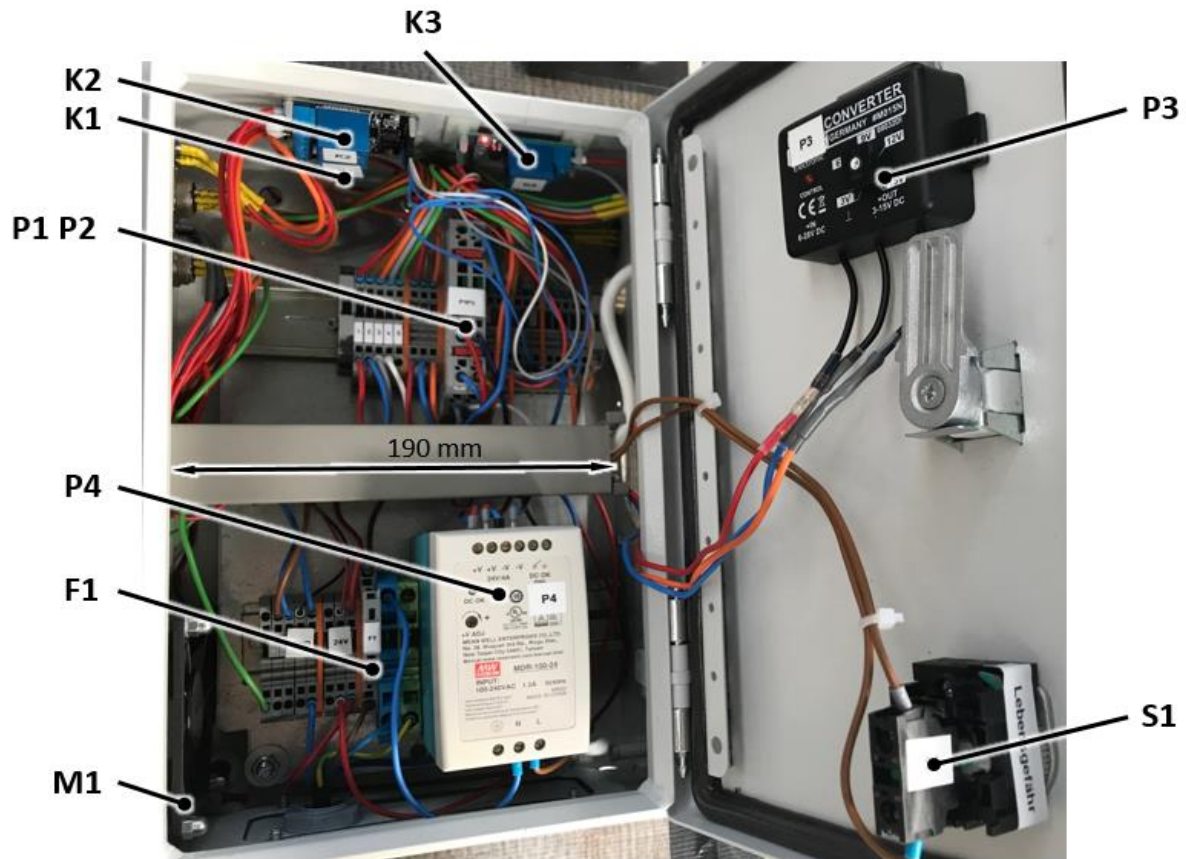


Bild 4-25 für die Leistungsversorgung Schaltschrank.

Zeichen	Name	Kommentar
P1, P2	Pegelwandler	Umwandlung TTL Signal in HTL Signal
P3	Spannungswandler	24 VDC → 12 VDC
P4	Spannungswandler	220 VAC → 24 VDC
M1	Lüfter	
K1	Relay	Schalter für das Überdruckventil
K2	Relay	Schalter für die Motorfreigabe
K3	Relay	Schalter für das Kühlventil
F1	Leistungsschutz	Max. Strom: 6.4 A
S1	Schalter	

Tabelle 4-22 Komponentenliste des elektrischen Schaltschranks.

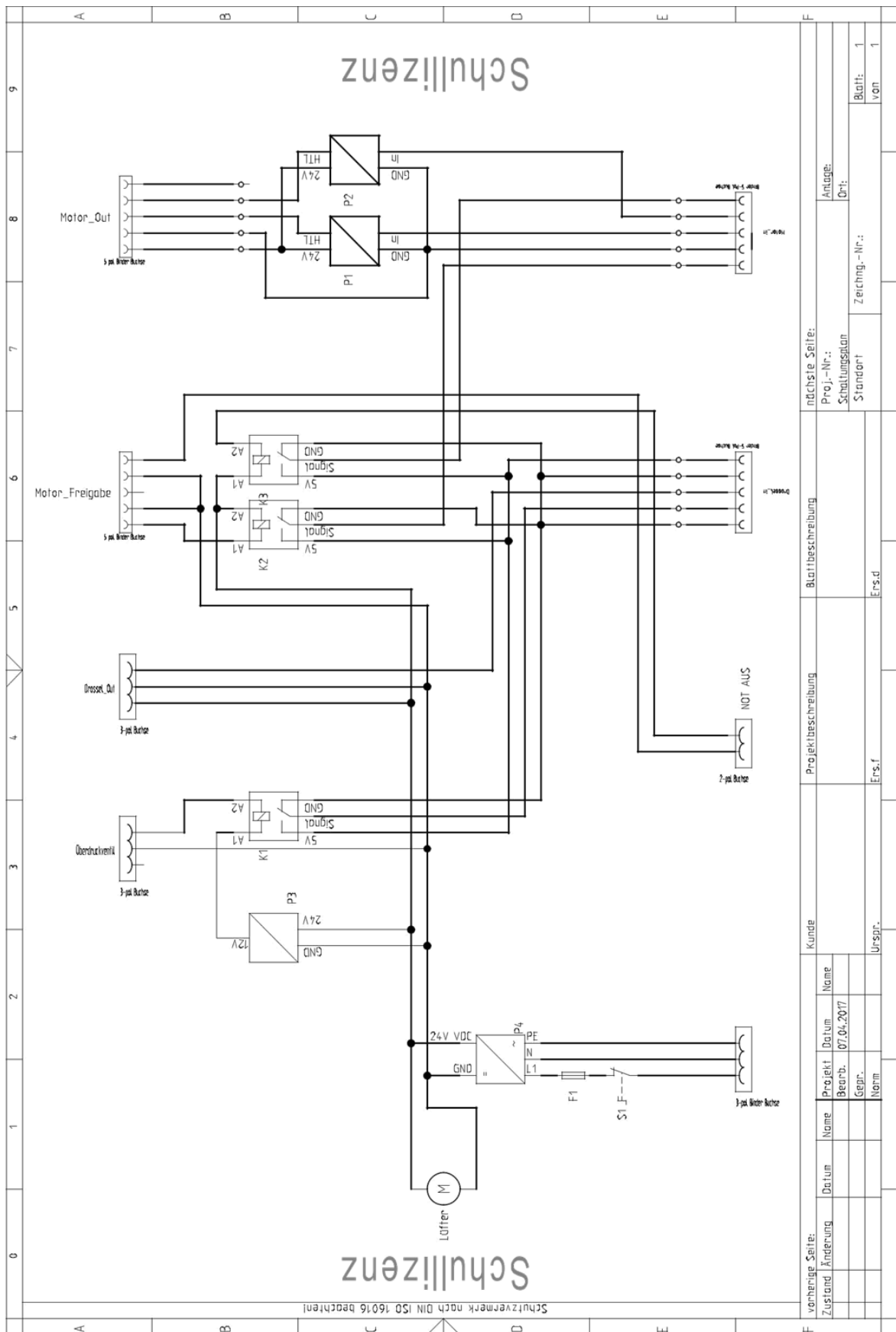


Bild 4-26 Elektrische Schaltplan.

5 Modellbildung und Simulation der Radialkolbenpumpe

5.1 Funktionweise der Pumpe

Die Funktionweise der Radialkolbenpumpe wird im [20] zu beschreiben. Die Funktionweise der saugdrosselten Pumpe ist unter die folgenden Annahmen [22] mit dem Bild 5-1 gezeigten Graphen zu erläutern.

1. Dynamische Einflüsse beim Befüllen des Kolbenraumes werden nicht berücksichtigt.
2. Die vom Exzenterdrehwinkel abhängige Querschnittsfläche der Steueröffnungen wird durch einen mittleren, über den Hub konstanten Wert angenähert.
3. Die für den Befüllvorgang des Kolbens verantwortliche Druckdifferenz zwischen Tankanschluss und Kolbenraum sei konstant.
4. Phasenübergänge vom gasförmigen in den flüssigen Aggregatzustand laufen ideal schnell ab.
5. Querschnitte der Einströmung Loch wird als Rechtecke betrachtet.
6. Das Rückschlagventil wird als ein ideales Bauteil betrachtet.

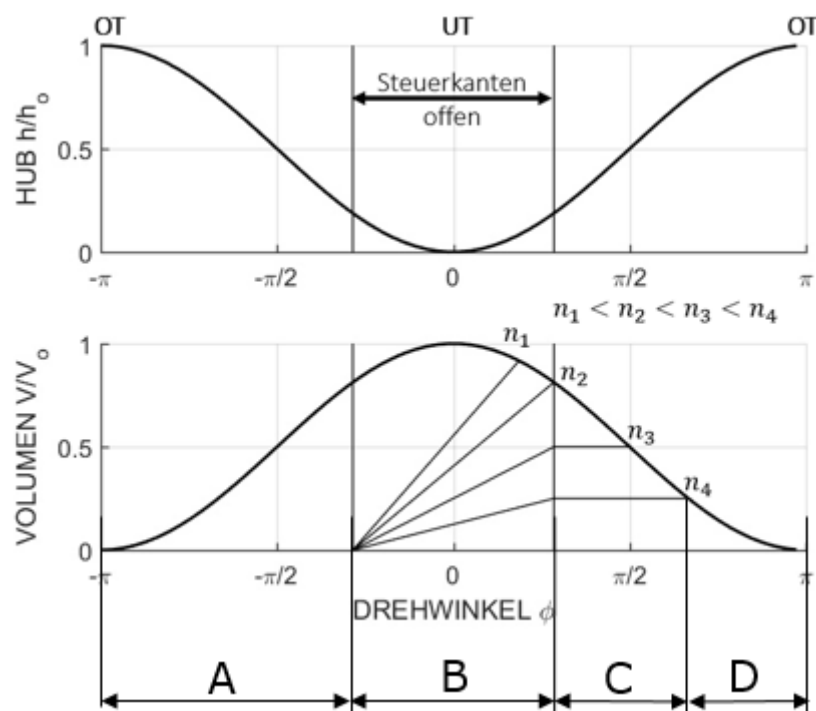


Bild 5-1 Hubfunktion und Volumenbilanz.

Die Definitionen der Hubfunktion und Volumenbilanz werden durch Literatur [22] ausführlich beschrieben. Die Hubfunktion des Kolbens wird herangezogen, um den Winkelbereich abzulesen, über den die Steuerbohrungen geöffnet sind. Die Volumenbilanz zeigt an, wieviel vom geometrisch zur Verfügung stehenden Hubvolumen V_0 durch das hineingeströmte Ölvolumen V ausgefüllt ist.

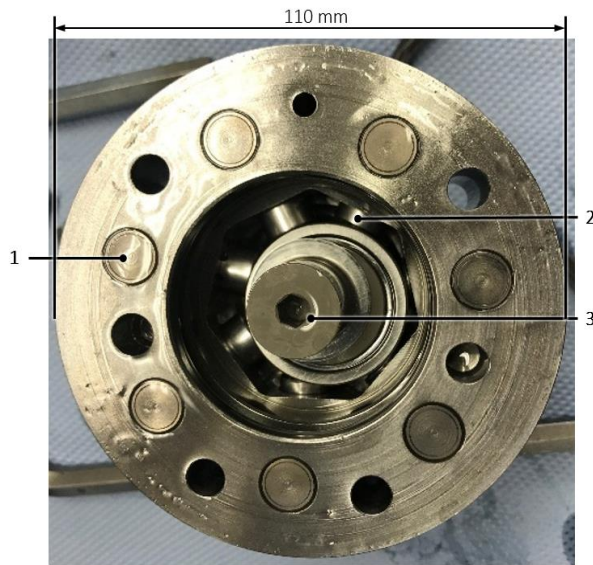


Bild 5-2 Schnitt durch Radialkolbenpumpe.

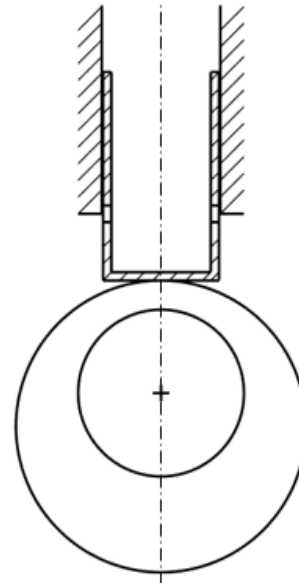


Bild 5-3 Schnitt der Kolben im UT.

Zeichnung	Name
1	Rückschlagventil
2	Kolben
3	Welle

Tabelle 5-1 Bauteil des Schnitts durch Radialkolbenpumpe.

Die ausführliche Information der Arbeitsweise der Radialkolbenpumpe ist im [20] zu beschreiben. Bei der Beschreibung des Arbeitszyklus fängt am oberen Totpunkt an und endet mit dem unteren Totpunkt. Ein Arbeitszyklus besteht aus vier Phasen, nämlich von A bis D.

Phase A **Gasauslösen** durch eine schnelle Vergrößerung des geometrischen Volumens bei gleichzeitig konstantem Ölvolumen

Phase B **Befüllen** der Verdrängerräume in einem definierten geometrischen Bereich

Phase C **Nicht Fördern** und Gasrücklösen für $n > n_{\text{grenz}}$

Phase D **Fördern**

In Phase A wird das geometrische Volumen durch die Hubbewegung der Verdränger vom oberen Totpunkt zum unteren Totpunkt vergrößert. Der Druck sinkt dramatisch mit der Drehung der Welle. Gleichzeitig ist das Druckmedium übersättigt. Da die in diesem Vorgang stattfindende Zeit gering ist, wird nur ein sehr kleiner Anteil des unter gesättigten Bedingungen im Fluid gelösten Gases herausgelöst. Es führt zu der Druckdifferenz zwischen Ölvolumen und geometrischem Volumen. In Phase B kann ein Ölvolumen drehzahlabhängig wegen der Druckdifferenz zwischen Ölvolumen und geometrischem in die Verdränger einströmen und je nach Drehzahl teilweise wieder ausströmen. Solange das geometrische größer ist als das

Ölvolumen, tritt in Phase C ein Nichtfördern ein, bis eine Übereinstimmung vorliegt und bei weiterer Kompression der Öffnungsdruck der hochdruckseitigen Rückschlagventile erreicht wird. Bei Überschreitung des Rückschlagventils Öffnungsdruck kann in Phase D das Öl zum Verbraucher gefördert werden.

Im Bild 5-1 sind das geometrische Volumen und das Ölvolumen eines Verdrängerraums einer sauggedrosselten Radialkolbenpumpe für unterschiedliche Antriebsdrehzahlen prinzipiell dargestellt. Bei der Drehzahl n_2 ist der Verdrängerraum zum Ende der Phase B gerade vollständig mit Druckmedium gefüllt. Für zunehmende Drehzahlen ist der Arbeitspunkt, in dem das Ölvolumen wieder mit dem geometrischen Volumen übereinstimmt, zu größeren Drehwinkeln hin verschoben.

5.2 Analytisches Modell der Radialkolbenpumpe

In diesem Abschnitt soll ein analytisches Modell der Radialkolbenpumpe nach [22] vorgestellt werden. Die Grenzdrehzahl n_{grenz} wird direkt aus den konstruktiven Daten berechnet. Außerdem wird noch der maximale Volumenstrom Q_{max} hergeleitet. Die im folgenden verwendeten Formelzeichen sind auch im Symbolverzeichnis zusammengefasst.

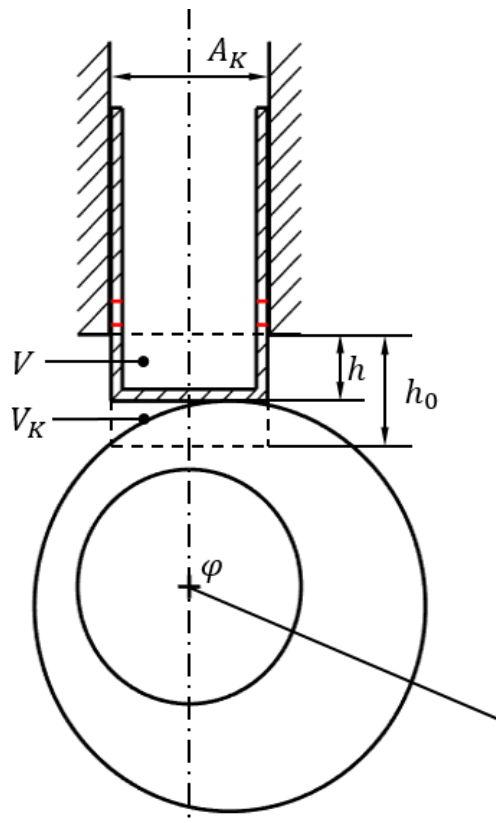


Bild 5-4 Schnitt der Kolben.

Die Hubfunktion der Pumpe ist

$$h(\varphi) = \frac{h_0}{2} (1 - \cos\varphi).$$

Gl. 5-1

Daraus ergibt sich mit der Kolbenfläche A_K das Hubvolumen zu

$$V(\varphi) = A_K \cdot h(\varphi) = \frac{V_0}{2} (1 - \cos \varphi). \quad \text{Gl. 5-2}$$

Das Fördervolumen ergibt sich entsprechend zu

$$V_K(\varphi) = V_0 - V(\varphi) = \frac{V_0}{2} (\cos \varphi + 1). \quad \text{Gl. 5-3}$$

Mit der Blendengleichung kann der Volumenstrom des Öls über die Steuerbohrung in den Kolben berechnet werden und es gilt

$$Q = a A(\varphi) \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}} = \frac{d V_{\text{ÖL}}}{dt} = \omega \frac{d V_{\text{ÖL}}}{d \varphi}. \quad \text{Gl. 5-4}$$

Aus der Integration des Volumenstroms ergibt sich das Ölvolumen im Kolben zu

$$V_{\text{ÖL}}(\varphi) = \int_{\varphi_{\text{öffnen}}}^{\varphi_{\text{Schließen}}} \frac{\alpha A(\varphi)}{\omega} \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}} d\varphi \quad \text{Gl. 5-5}$$

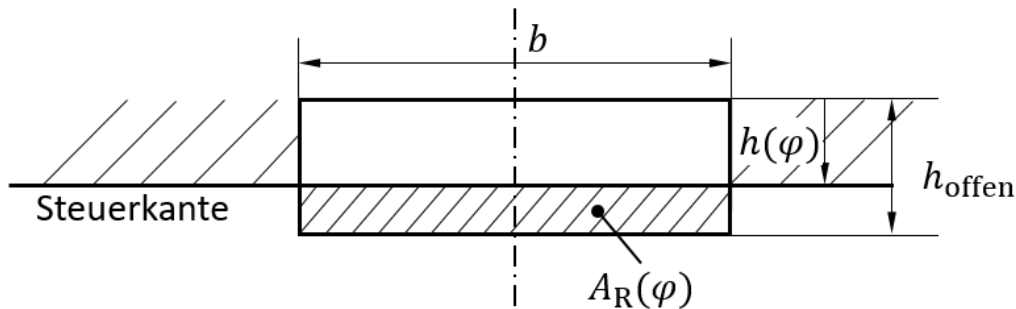


Bild 5-5 Drehwinkelabhängiger Blendenquerschnitt als Rechteck.

Vereinfachend wird die Steuerbohrung als Rechtecköffnung, wie in Bild 5-5 gezeigt, betrachtet. Die Funktion A_R ist somit

$$A_R(\varphi) = b \left[h_{\text{offen}} - \frac{h_0}{2} (1 - \cos \varphi) \right]. \quad \text{Gl. 5-6}$$

Durch Zusammenfassung von Gl. 5-4, Gl. 5-5 und Gl. 5-6 ergibt sich der einströmende Ölvolumenstrom zu

$$V_{\text{ÖL}}(\varphi) = \frac{m b \alpha}{\omega} \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}} \left[\left(h_{\text{offen}} - \frac{h_0}{2} \right) \varphi_{\text{offen}} + \frac{h_0}{2} \sin \varphi_{\text{offen}} \right]. \quad \text{Gl. 5-7}$$

Ein Volumenvergleich des Fördervolumens und des Ölvolumens fördert eine Abhängigkeit der Grenzdrehzahl von den konstruktiven Daten der Pumpe zutage:

$$V_K(\varphi_{\text{offen}}) = V_{\text{ÖL}}(\omega_{\text{grenz}}) = V_{\text{grenz}} \quad \text{Gl. 5-8}$$

Nach der Grenzdrehzahl wird diese Gleichung aufgelöst zu

$$\omega_{\text{grenz}} = \frac{2 m b \alpha}{V_0 (1 - h_{\text{offen}}/h_0)} \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}} \left[\left(h_{\text{offen}} - \frac{h_0}{2} \right) \varphi_{\text{offen}} + \frac{h_0}{2} \sin \varphi_{\text{offen}} \right]. \quad \text{Gl. 5-9}$$

Unterhalb dieser Grenzdrehzahl ist der Fördervolumenstrom proportional zur Drehzahl und es gilt

$$Q_P = z V_K(\varphi_{\text{offen}}) n \quad \text{Gl. 5-10}$$

oberhalb der Grenzdrehzahl ist der Volumenstrom konstant und es gilt

$$Q_{\text{max}} = Q_{\text{grenz}} = z V_{\text{grenz}} n_{\text{grenz}}. \quad \text{Gl. 5-11}$$

5.3 Die Ergebnisse der Simulation

Durch die Simulation von der Radialkolbenpumpe wird die Grenzdrehzahl und der maximale Volumenstrom simuliert. Mit dem Gl. 5-9 und Gl. 5-10 ergibt sich der maximale Volumenstrom von 11.4 l/min bei der Grenzdrehzahl 1770 min⁻¹. Die Ergebnisse von der Simulation wird durch nachgemessenen folgen Parameter von der Radialkolbenpumpe berechnet.

Parameter	Wert	Parameter	Wert
Anzahl der Schlitze	t = 8	Öffnungswinkel	51.68°
Bereite der Schlitze	b = 1.35 mm	Öldichte	$\varrho = 850 \text{ kg/cm}^3$
Maximaler Kolbenhub	$h_0 = 8 \text{ mm}$	Befüllungsdruckdifferenz	$A_p = 0.9 \text{ bar}$
Maximaler Öffnung Hub	$h_b = 1.35 \text{ mm}$	Maximales Hubvolumen	$V_0 = 1231 \text{ mm}^3$
Durchfluss Beiwert	$\alpha = 0.65$	volumetrischer Wirkungsgrad	$\eta_{\text{vol.}} = 0.92$ bei 100 bar

Tabelle 5-1 Parameter für die Simulation der Radialkolbenpumpe.

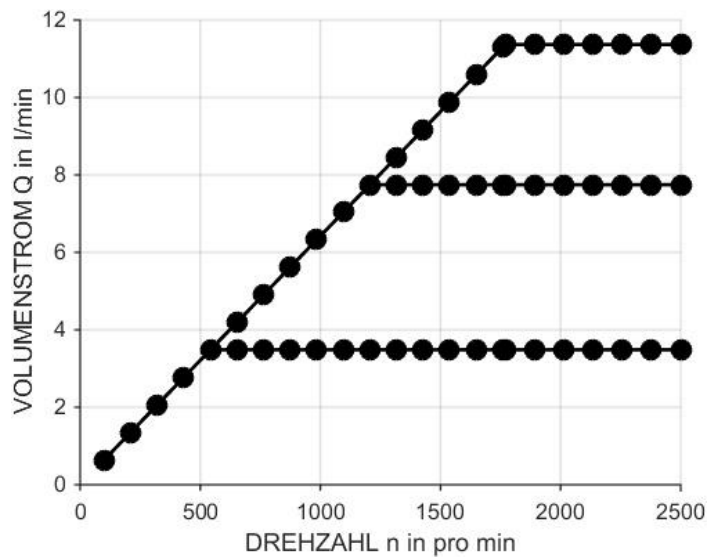


Bild 5-6 Idealer Verlauf des Volumenstrom der Radialkolbenpumpe der verschiedenen Saugdrosselstellungen.

Aus Bild 5-6 ist zu erkennen, dass die Volumenstromkennlinie der Saugdrosselgeregelten Radialkolben aus zwei Teilen besteht. Der Fördervolumenstrom ist nicht nur von der Drehzahl abhängig, sondern auch von der Saugdrosselstellung. Bis zur Grenzdrehzahl ist der Volumenstrom proportional zu der Drehzahl der Pumpe. Bei Größeren Drehzahlen bleibt der Volumenstrom konstant. Durch die Saugdrossel kann der Volumenstrom um bis zu 90% verringert werden.

5.3.1 Einfluss der hydraulischen Induktivität

In der Praxis ist das massebehaftete Öl bei jedem Befüllungsvorgang in den Kolbenraum zu beschleunigen. Dies führt dazu, dass mit zunehmender Drehzahl der effektive Fördervolumenstrom sinkt. Der Fördervolumenstrom fällt hier nach der Grenzdrehzahl sogar quadratisch.

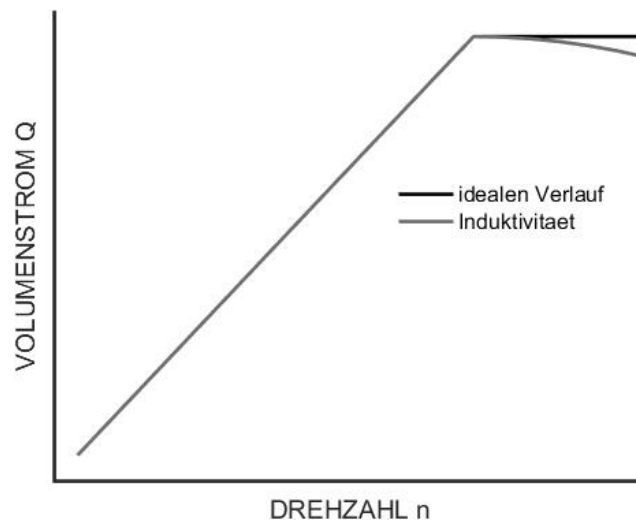


Bild 5-7 Einfluss der Induktivität auf den Volumenstrom, in Anlehnung an Welschhof [21].

5.3.2 Einfluss der Kompressibilität des Fördermediums und Leckagen

Um den Einfluss des Betriebsdrucks zu erfassen, muss die Kompressibilität des Öls und des Lecköls betrachtet werden. Bei hoher Drehzahl ist der Einfluss auf dem Volumenstrom nicht mehr bemerkbar. Mit zunehmender Drehzahl sinkt der Förderverlust nach der Grenzdrehzahl, weil das hineingeströmte Ölvolumen mit der Zunahme der Drehzahl nach der Grenzdrehzahl immer weniger wird. Im Vergleich dazu, ist der Förderlust bei niedriger Drehzahl größer als bei hoher Drehzahl. Bild 5-8 zeigt, je höher Systemdruck ist, desto größer ist der Einfluss auf den Förderverlust.

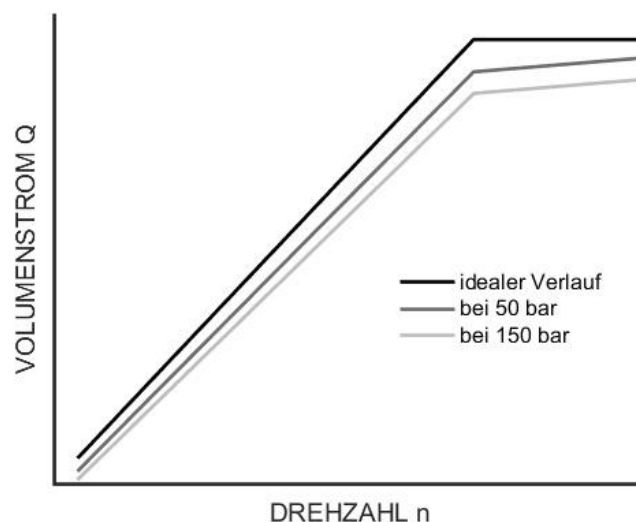


Bild 5-8 Einfluss der Kompressibilität und des Lecköls auf den Volumenstrom, in Anlehnung an Welschhof [21].

5.3.3 Einfluss von Fertigungstoleranzen

Das Bild 5-9 zeigt, wie der Einfluss der Fertigungstoleranz auf die Fördervolumenstromkurve ist. Sie tragen maßgeblich dazu bei, dass sich nicht wie gefordert ein exakter Knickpunkt für die Grenzdrehzahl ergibt. Jeder Kolben hat seine eigene Grenzdrehzahl. Es führt dazu, dass ein

weicher Übergang von linearen in den konstanten Ast der Fördervolumenstromkurve aufgetaucht hat. Wie groß Einfluss auf die Fördervolumenstromkurve, ist abhängig von der Fertigungstoleranz und Zahl der Kolben.

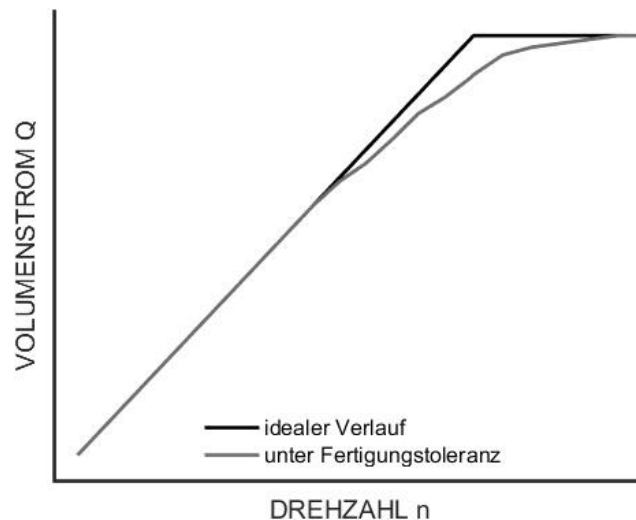


Bild 5-9 Einfluss der Fertigungstoleranz auf den Volumenstrom, in Anlehnung an Welschof [21].

5.4 Hydraulischer Wirkungsgrad der Radialkolbenpumpe

Der gesamte Wirkungsgrad ist die Kenngröße zur Beschreibung von dem Verhältnis von der nutzbaren und zugeführten Leistung [20]. Der Wirkungsgrad wird durch die hydraulische Leistung P_H , die elektrische Leistung P_E und die mechanische Leistung P_M berechnet.

Die hydraulische Leistung wird durch Gl. 5-12 beschrieben.

$$P_H = Q_F \Delta p_0 \quad \text{Gl. 5-13}$$

Die in die Pumpe eingebrachte Leistung P_E wird durch das Drehmoment und Drehzahl nach der Gl. 5-2 berechnet.

$$P_M = \frac{2\pi}{60} M_{\text{motor}} n \quad \text{Gl. 5-2}$$

Die elektrische Leistung ist durch folgende Gleichung zu beschreiben,

$$P_E = \sqrt{3} U I_e, \quad \text{Gl. 5-2}$$

mit der Spannung U und dem Strom I_e am Motor. Die Verlustleistung von der Radialkolbenpumpe ist die Differenz von hydraulische Leistung P_H und mechanische Leistung P_E .

$$P_V = P_M - P_H \quad \text{Gl. 5-2}$$

Somit ergibt sich der hydraulische Wirkungsgrad zu

$$\eta_{\text{ges}} = \frac{P_{\text{H}}}{P_{\text{M}}} = 1 - \frac{P_{\text{V}}}{P_{\text{M}}}.$$

Gl. 5-2

6 Experimentelle Charakterisierung der Pumpe

6.1 Versuchsumgebung

Am Institut des FST existiert bereits ein Prüfungsstand zur Messung von Ventilkennlinie (Bild 6-1) [4]. Dieser Prüfungsstand wird zur Messung der Pumpenkennlinie verwendet. Der Druckaufbau an der Pumpe wird hierfür über das Ventil eingestellt. Der gesamte hydraulische Aufbau ist in Bild 6-2 dargestellt. Die verwendete Sensorik ist in Tabelle 6-1 aufgelistet.

Messgröße	Bezeichnung	Wirkprinzip	Arbeitsbereich	Messfehler
Volumenstrom Q	VSE VSI 1	Zahlradprinzip	(0.05...80)l/min	0.3%
Systemdruck P_1	Keller PA 23	Piezoresistiver Drucktransmitter	(0...300) bar	0.5%
Rücklaufdruck P_2	Keller PA 23	Piezoresistiver Drucktransmitter	(0...30) bar	0.5%
Temperatur T_1	ETS 4100	PT 1000	(-25...+100) °C	0.4%
Motorstrom I	AT-B10	Transdec	(0...50) A	1.5%
Motordrehmoment M	Interemotor			
Motordrehzahl n	PMIS4	Magnetring Inkremental-Encoder	(0...6000) min ⁻¹	

Tabelle 6-1 Verwendete Sensoren zur Messung der Volumenstromsignalfunktionen.

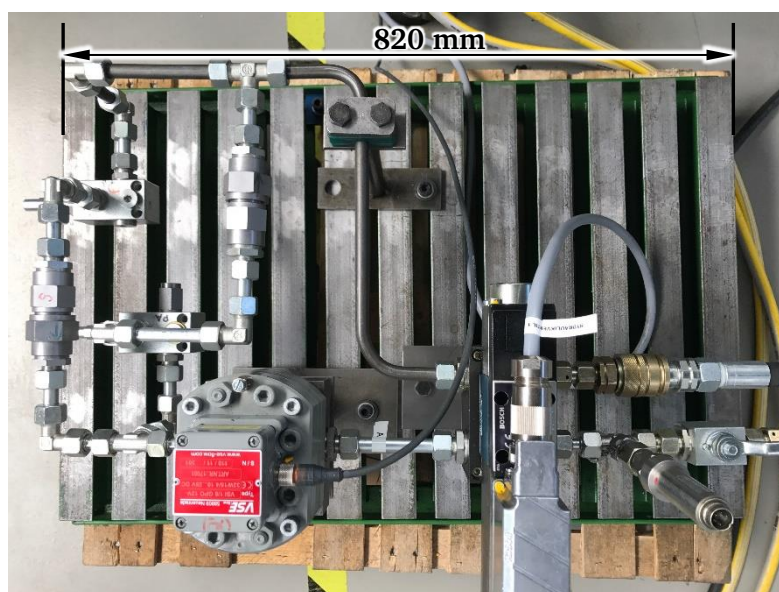


Bild 6-1 Messaufbau zur Messung der Radialkolbenpumpe Kennlinie.

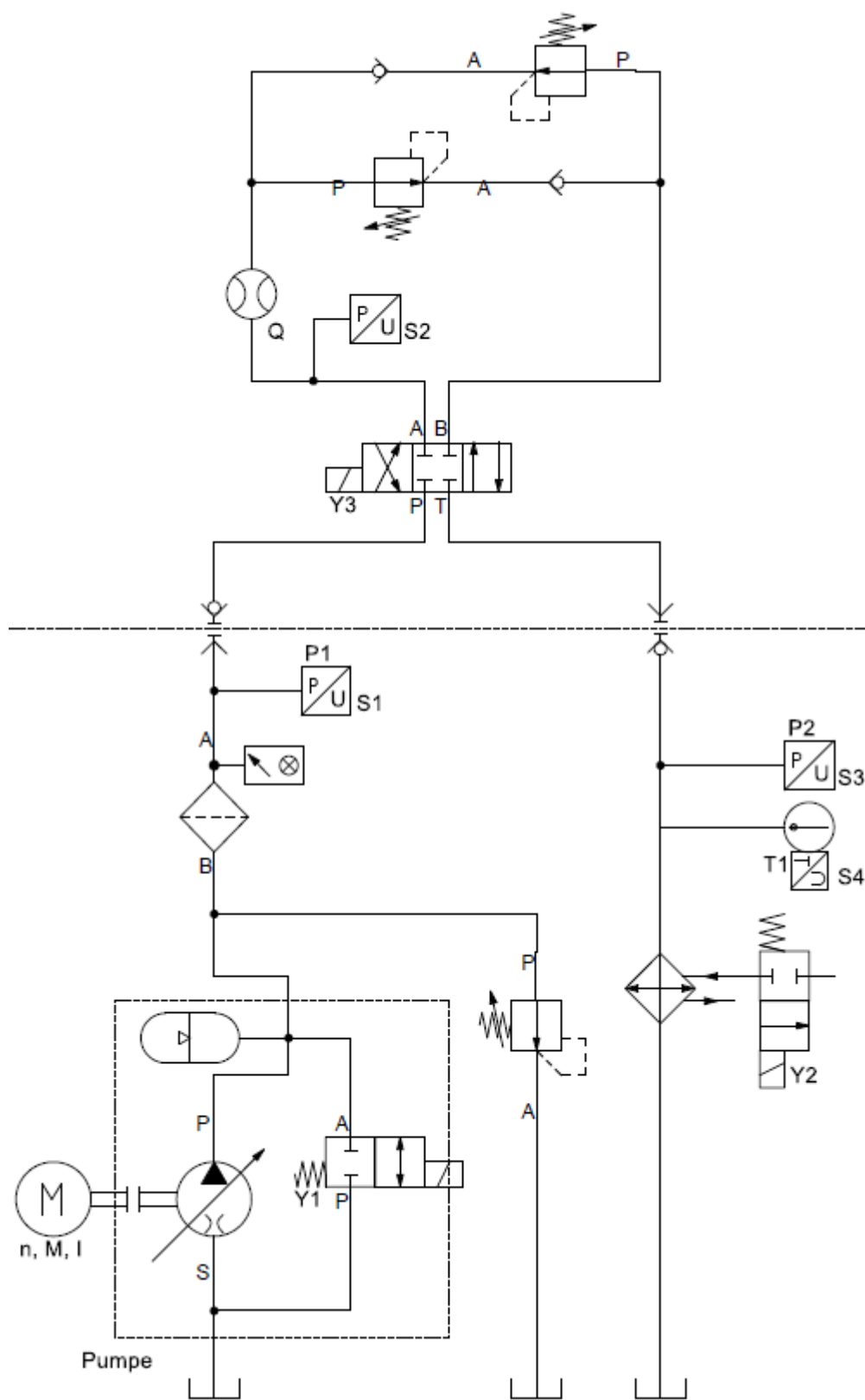


Bild 6-2 Schaltungsplan des gesamten Prüfungsstands.

6.2 Messprogramm

Bei der Messung der Radialkolbenpumpenkennlinie ist es notwendig, die Parameter der Messung anzugeben. Um die Einstellung der Messungsparameter zu vereinfachen, wird eine GUI entwickelt. Die GUI-Interface ist in Bild 6-3 zu sehen.

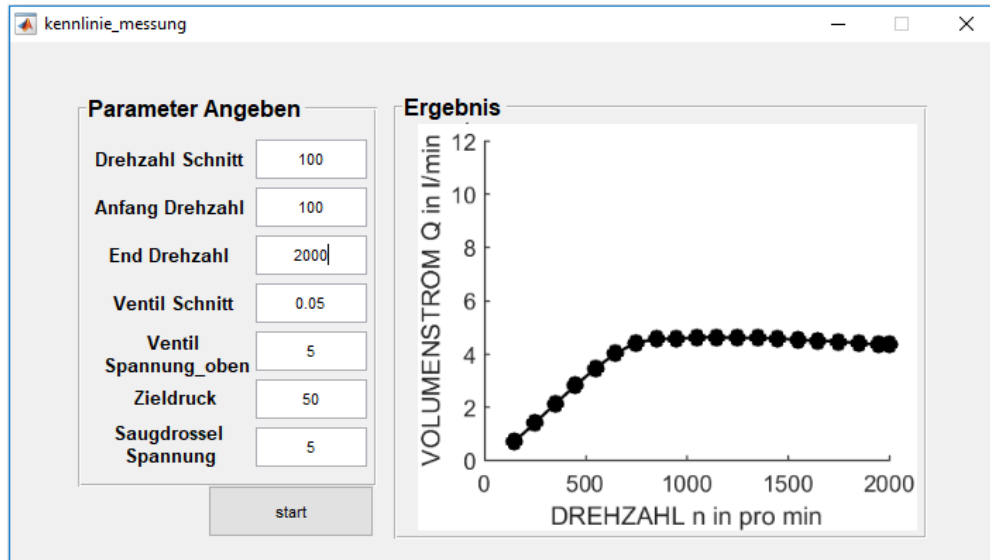


Bild 6-3 GUI Messung Programm Interface.

Durch das Messungsprogramm können die Parameter der Messung einfach definiert werden, beispielsweise der Zielsystemdruck, die Saugdrosselstellung usw. Im Feld ‚Ergebnis‘ wird die Ergebnisse der Messung angezeigt, um die in Echtzeit die gemessenen Ergebnisse zu überprüfen. Durch den Druckknopf wird die Messung manuell gestartet. Nach der Messung sind die Messdaten automatisch im ausgewählten Ordner mit dem Namen „Datum-Zildruck-Saugdrosselstellung“ gespeichert.

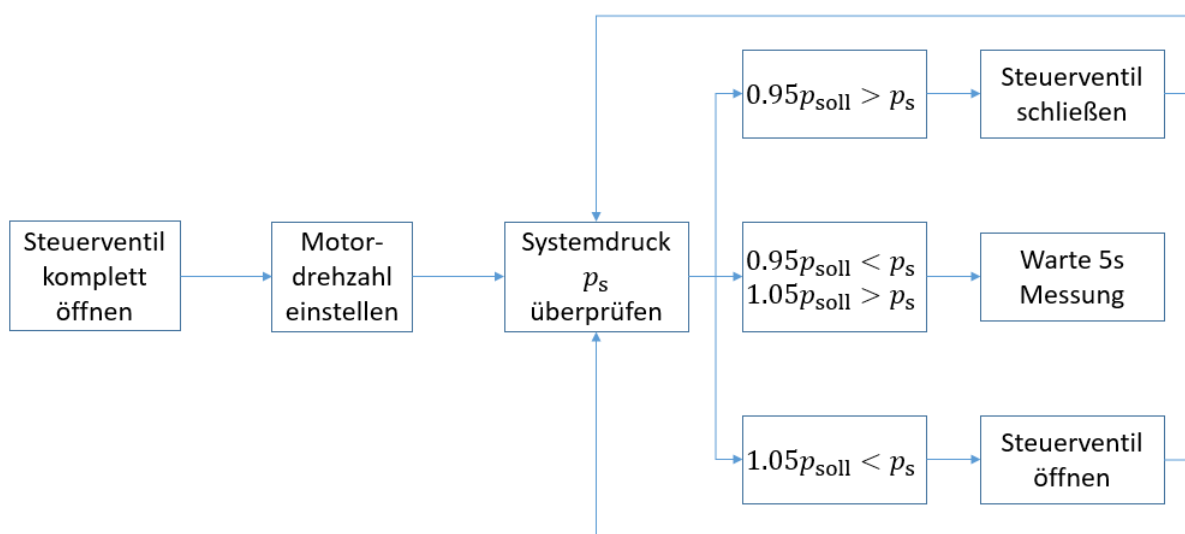


Bild 6-4 Das Ablaufdiagramm der Messung.

Das Ablaufdiagramm ist in Bild 6-4 zu sehen. Der Systemdruck wird durch das Steuerventil eingestellt. Bei jeder Einstellung der Motordrehzahl wird das Steuerventil komplett geöffnet. Dann wird der durch Drucksensor ausgelesene Systemdruckistwert mit Systemdrucksollwert überprüft. Wenn der Systemdruckistwert kleiner als 95% desSystemdrucksollwert ist, wird das Steuerventil schrittweise geschlossen. Wenn der Systemdruckistwert größer als 105% Systemdrucksollwert ist, wird das Steuerventil schrittweise geöffnet. Wenn der Systemdruckistwert zwischen 95% und 105% Systemdrucksollwert liegt, wird 5 Sekunden gewartet und dann werden die Messdaten für 1 Sekunde bei einer Abtastfrequenz von 1000 Hz aufgenommen und gespeichert. Die Werte im Kennfeld der Pumpe ergeben sich dann durch eine Mittelung. Ein Beispielsmessung für den Volumenstrom und den Systemdruck über die Zeit ist in Bild 6-5 und Bild 6-6 zu sehen.

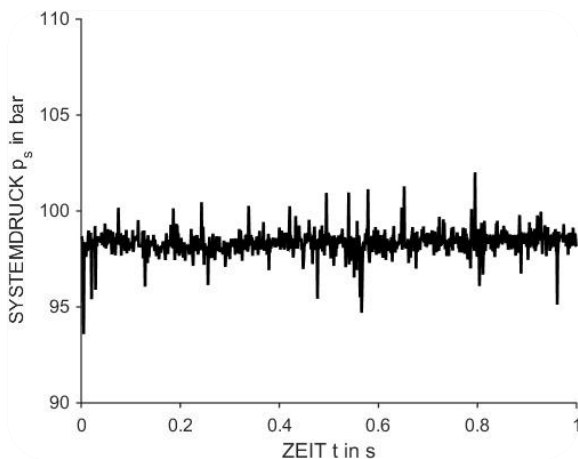


Bild 6-5 [182_M2] Druckverlauf bei Systemdrucksollwert 100 bar.

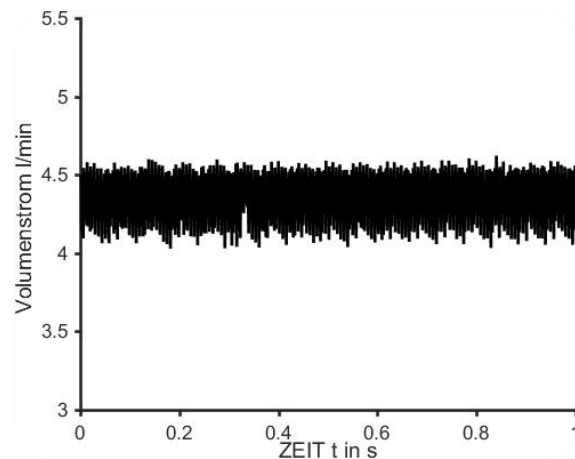


Bild 6-6 [182_M2] Volumenstromverlauf über der Zeit bei der gleichen Konfiguration.

6.3 Einsatz der hydraulischen Leistungsversorgung mit der aktiven Luftfeder

Wenn das ABC Leistungsversorgungssystem fertig ist, wird das System mit der aktiven Luftfeder eingesetzt. Da das Leistungsversorgungssystem durch die Saugdrossel geregelt wird, muss für die Volumenstromvorgabe der Sollvolumenstrom, der von der aktiven Luftfeder benötigt wird, bekannt sein. Der Volumenstromistwert wird durch die Umrechnung von das aktiven Kolbenistweg und der Querschnittsfläche mit der Gl. 6-2 angegeben.

$$Q_{\text{soll}} = A_{\text{KG}} \dot{x}_{\text{KG,soll}} \quad \text{Gl. 6-1}$$

$$Q_{\text{ist}} = A_{\text{KG}} \dot{x}_{\text{KG,ist}} \quad \text{Gl. 6-2}$$

Für die Regelung des Volumenstroms mit der Saugdrossel wird ein PID-Regler aufgebaut.

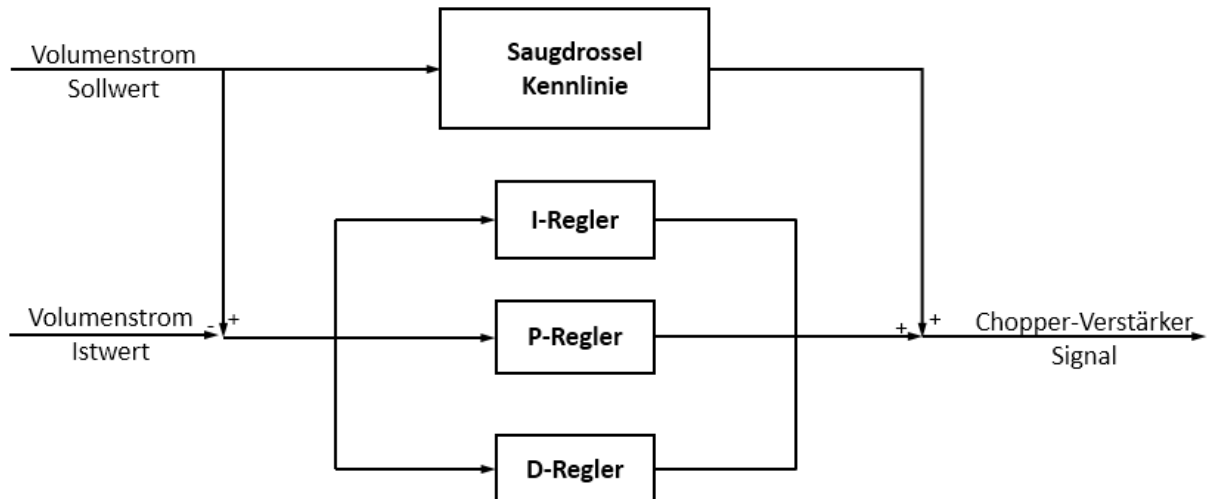


Bild 6-7 Volumenstrom Regler.

Das Prinzip des PID-Reglers ist in Bild 6-7 zu sehen. Die Volumenstromvorgabe wird durch die von experimentell gemessenen Kennlinie der Radialkolbenpumpe (Bild 7-6) bestimmt. Die Abweichung zwischen Istwert und Sollwert des Volumenstroms wird durch zusätzliche PID-Regler minimiert. Alle Parameter werden experimentell bestimmt und später im Versuch mit der aktiven Luftfeder getestet.

Beim Einsatz des Leistungsverversorgungssystems mit der aLF wird ein erhöhtes Rauschen bei anderen Sensoren beobachtet. Ein Beispiel ist in Bild 6-8 zu sehen.

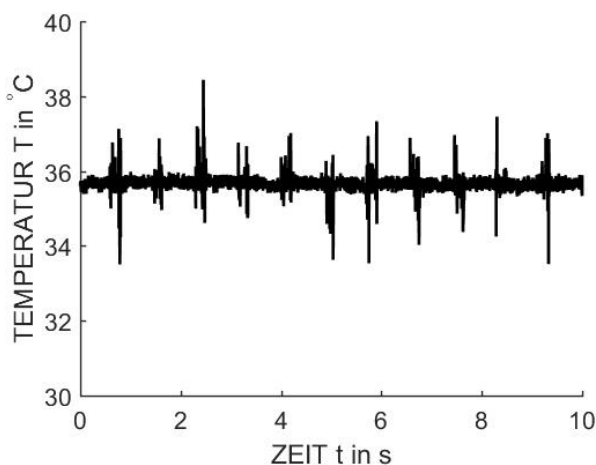


Bild 6-8 [175] Temperatursignal mit Rauschen.

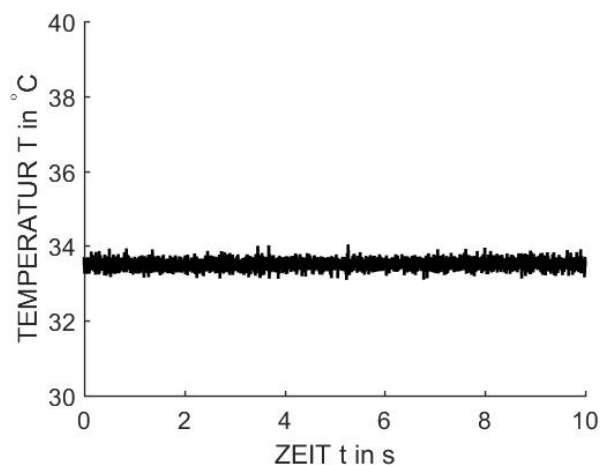


Bild 6-9 [165] Temperatursignal ohne Rauschen.

Nach der Untersuchung ergibt sich, dass das CAN Bus zu dem Rauschen geführt hat. Um dieses Problem zu lösen, wird das CAN-Bus-Kabel geschirmt. Der Schirm des Kabels wird beiderseitig auf die Erde gelegt. Zusätzlich ist zu beachten, dass der Grund der CAN-Schnittstelle nicht angeschlossen wird.

Nach dem Aufbau des Volumenstromreglers und die Lösung des Rauschproblems wird eine Messung der gesamten aktiven Luftfeder bei verschiedenen Drehzahl von 1000 min^{-1} bis 2000 min^{-1} Sollweg durch Straßensignal durchgeführt.

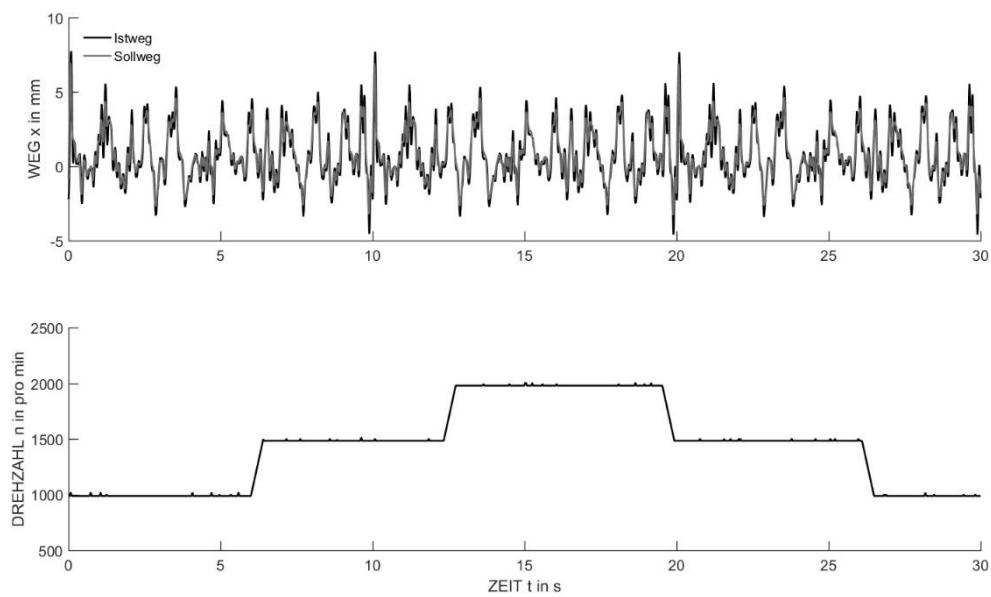


Bild 6-10 [174] Regungsverlauf unter verschiedene Drehzahl.

Die Sollweg und Istweg des Kopplungsglieds und die Drehzahl der Radialkolbenpumpe sind aus dem Bild 6-10 zu entnehmen. Es ist zu erkennen, dass der Istwert des Kopplungsglieds bei verschiedenen Drehzahlen grundsätzlich dem Sollwert des Kopplungsglieds folgt, D.h. dass Leistungsversorgungssystem in der Praxis funktioniert.

7 Auswertung der Ergebnisse

7.1 Pumpenkennlinie

7.1.1 Vergleich der simulierten und gemessenen Kennlinien

Das Bild 7-1 zeigt die Vergleichenkennlinie von Messung- und Simulation. Die zwei Messungen werden jeweils bei dem das Systemdrucken 55 bar und 150 bar, Saugdrosselstellung 10 V und Öltemperatur 45°C durchgeführt.

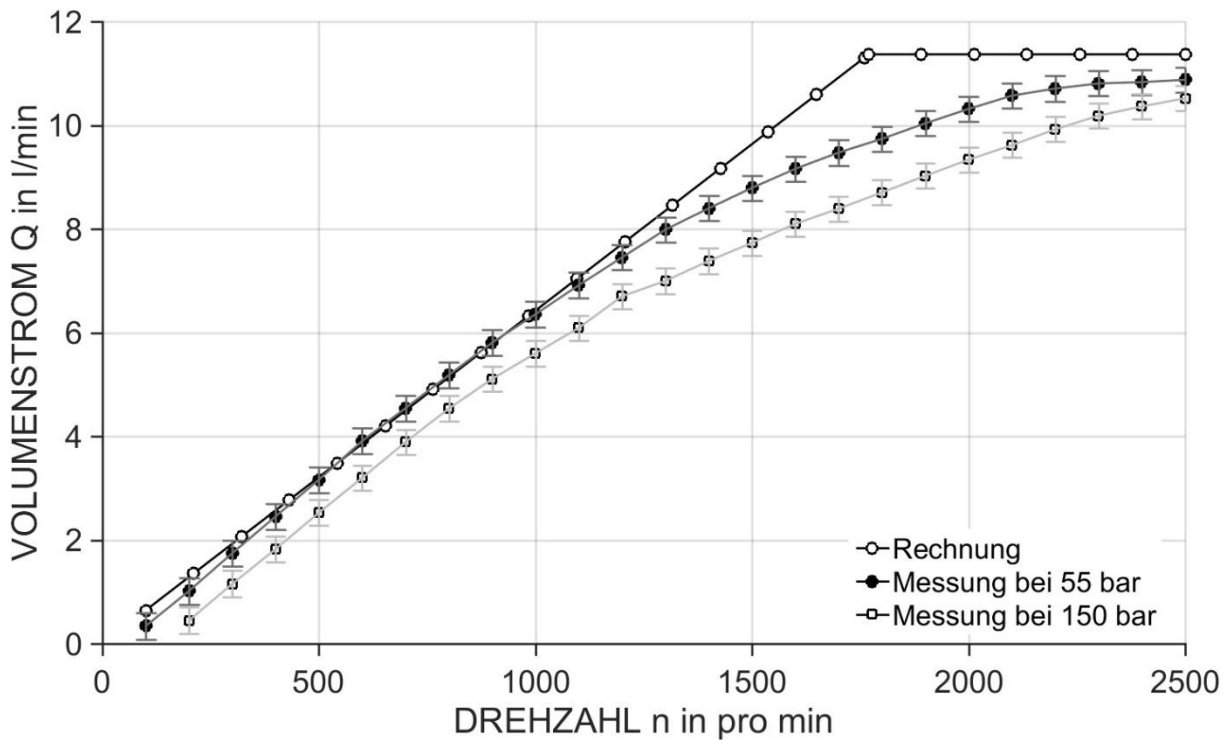


Bild 7-1 [182_M3] Pumpenkennlinien bei 55 bar und 150 bar im Vergleich mit der simulierten Kennlinie.

	Grenzdrehzahl	maximaler Volumenstrom
Simulation	1770 min ⁻¹	11.4 l/min
Messung bei Systemdruck 55 bar	≈ 1750 min ⁻¹	11.1 l/min
Messung bei Systemdruck 150 bar	≈ 1750 min ⁻¹	10.5 l/min

Tabelle 7-1 Simulation- und Messungsergebnisse im Vergleich.

Vor der Grenzdrehzahl ist der gemessenen Fördervolumenstrom ungefähr proportional zur Drehzahl der Raialkolbenpumpe. Nahe der Grenzdrehzahl ergibt sich nicht wie gefordert ein exakter Knickpunkt für die Grenzdrehzahl. Grund dafür vermutlich ist der Einfluss der Fertigungstoleranzen der Bauteile auf die Fördervolumenstromkurve und die Kompressibilität und Leckage des Öls. Je höher der Systemdruck ist, desto größer ist der Einfluss der

Kompressibilität und Leckage des Öls. Bei der Messung mit Systemdruck 55 bar liegt die Grenzdrehzahl und der maximale Volumenstrom bei ungefähr 1700 min^{-1} und 11.1 l/min . Die ausführlichen Vergleiche der Simulation- und Messungsergebnisse sind in Tabelle 7-1 dargestellt.

7.1.2 Pumpenkennlinie bei verschiedenen Saugdrosselstellungen

In Bild 7-2 kann man deutlich erkennen, dass die Grenzdrehzahl und der maximale Fördervolumenstrom bei drei verschiedenen Saugdrosselstellungen unterschiedlich sind. Beispielsweise bei der Saugdrosselstellung 5 V ist die Grenzdrehzahl ungefähr 700 min^{-1} . Mit zunehmender Drehzahl nimmt der Volumenstrom wieder leicht ab. Dieser Effekt könnte auf den Einfluss der Induktivität zurückzuführen sein. Außerdem ist zu sehen, dass der Fördervolumenstrom bei kleiner Drehzahl bei dem gleichen Systemdruck unabhängig von der Saugdrosselstellung ist.

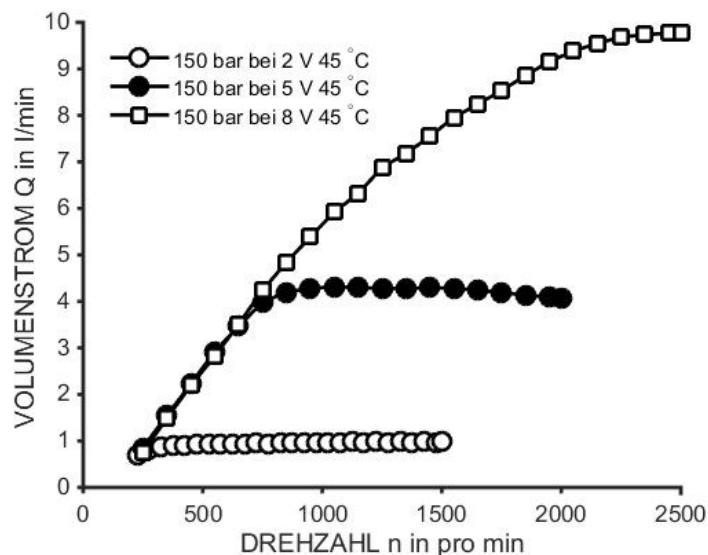


Bild 7-2 [182_M4] Pumpenkennlinie bei drei verschiedenen Saugdrosselstellungen.

7.1.3 Pumpenkennlinie bei verschiedenen Systemdrücken

Das Bild 7-3 zeigt deutlich, wie die Fördervolumenströme bei der gleichen Saugdrosselstellung aber drei verschiedenen Systemdrücke verlaufen. Je höher der Systemdruck ist, desto geringer ist der Fördervolumenstrom bei gleicher Drehzahl der Radialkolbenpumpe und verschiedenen Systemdrücken. Es liegt nahe, dass dieser Effekt die Kompressibilität des Öls und innere Leckage verursacht wird. Zudem ist die Grenzdrehzahl bei allen drei Messungen gleich, nämlich 870 min^{-1} . Wie in Kapitel 7.1.2 ist zu erkennen, dass höhere Systemdrücke zur Verringerung des Fördervolumenstroms führen. Im Gegensatz dazu ist der Fördervolumenstrom unabhängig von dem Systemdruck.

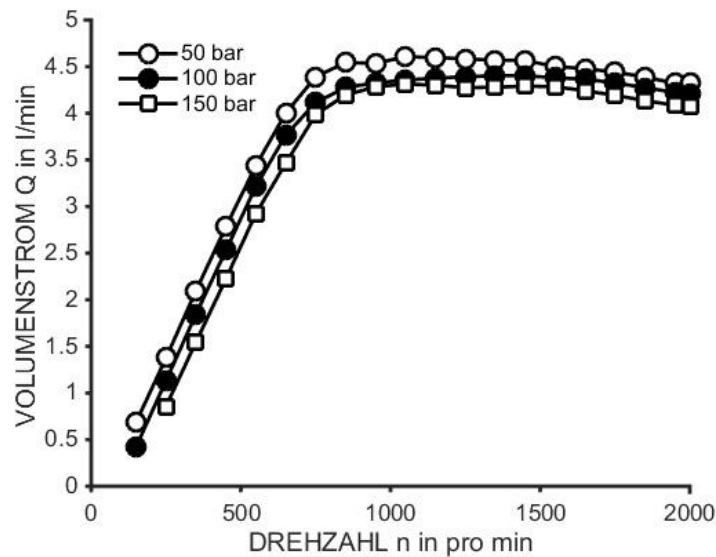


Bild 7-3 [182_M5] Pumpenkennlinie bei drei verschiedenen Systemdrücken.

7.2 Pumpenwirkungsgrad

In Bild 7-4 werden jeweils die mechanische Leistung, die hydraulische Leistung und die mechanische Leistung gezeigt. Die mechanische Leistung wird durch das Drehmoment nach der Gl. 7-2 intern im Motor berechnet. Die elektrische Leistung ist die Eingangleistung in den Inverter. Die hydraulische Leistung besteht aus zwei Teile, dem Druckaufbau und dem Verlust. Der Gesamtwirkungsgrad wird durch hydraulische Leistung und mechanische Leistung berechnet.

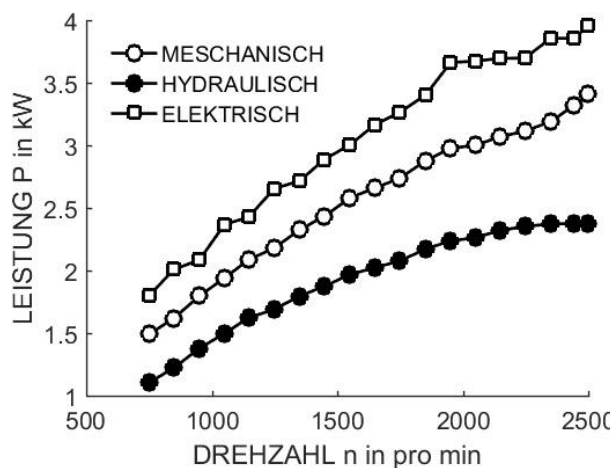


Bild 7-4 [182_M6] Leistung bei Systemdruck 150 bar Saugdrosselstellung 8V.

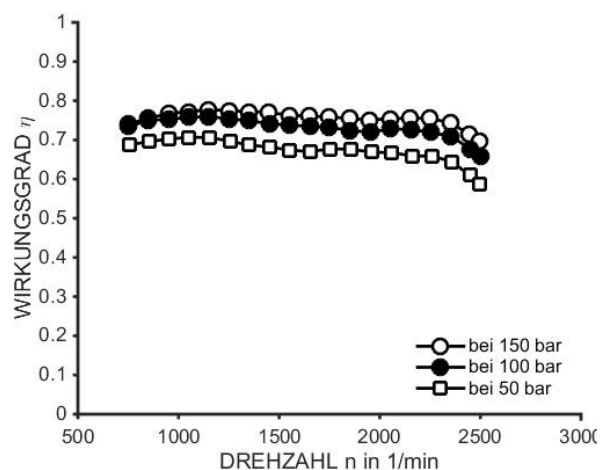


Bild 7-5 [182_M6] Gesamtwirkungsgrad bei Saugdrosselstellung 8V.

Am Anfang erhöht sich der Wirkungsgrad mit zunehmender Drehzahl. Nach dem Erreichen des maximalen Wirkungsgrades verringert sich der Wirkungsgrad, wenn die Drehzahl sich weiter erhöht. Es wird ersichtlich, dass der Wirkungsgrad mit steigendem Systemdruck zunimmt. Der maximale Wirkungsgrad bei 50 bar und 150 bar ist jeweils ungefähr 0,7 und 0,77 bei der Drehzahl 1000 min^{-1} und 1200 min^{-1} .

7.3 Saugdrosselkennlinie

Wie im Kapitel 5.2 geklärt wird, ist wichtig, die Kennlinie der Radialkolbenpumpe bei verschiedenen Saugdrosselstellungen zu untersuchen, weil der Förderstrom bei der relativen großen Drehzahl durch die Saugdrossel geregelt wird. Das Bild 7-6 zeigt die Kennlinie der Radialkolbenpumpe bei verschiedenen Saugdrosselstellungen. Die Messung wird bei 45 °C Öltemperatur und dem Systemdruck von 150 bar bei der Drehzahl 2500 min^{-1} durchgeführt. Es ist deutlich zu sehen, dass sich der Fördervolumenstrom von 1 l/min bis ca. 10.5 l/min mit der Änderung der Saugdrosselstellungen ergibt. Die Kennlinie ist wichtig, für den Einsatz der Leistungsversorgung mit der aktiven Luftfeder.

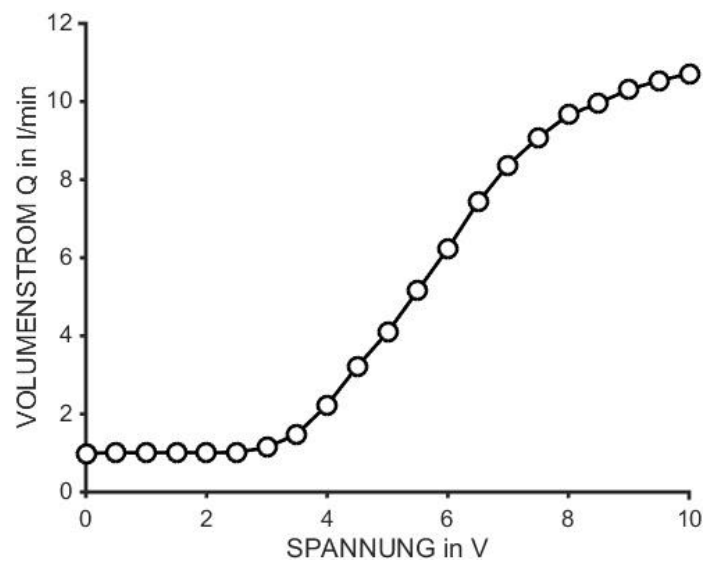


Bild 7-6 [182_M7] Saugdrosselkennlinie bei Systemdruck 150 bar und Drehzahl 2500 min^{-1} .

8 Zusammenfassung und Ausblick

8.1 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war der Aufbau der hydraulischen Leistungsversorgung für eine aktive Luftfeder für den Einsatz in einem aktiven Fahrwerk. Das Leistungsversorgungssystem basiert auf der Radialkolbenpumpe, die von Daimler zur Leistungsversorgung des ABC-Systems eingesetzt wird. Nach dem Vergleich mit den von Daimler bereitgestellten technischen Daten, wurde alle relevanten Größen und Parameter bestimmt.

Auf Basis dieser Parameter und Größen wurden die weiteren Komponenten des Leistungsversorgungssystems ausgewählt, unter anderem der Elektromotor zum Antriebe der Pumpe, der Chopper-Verstärker zur Ansteuerung der Saugdrossel sowie weitere hydraulische und elektrische Komponenten. Danach erfolgte die Auslegung und Detailkonstruktion der für den Versuchsaufbau benötigten Teile, wie der Pumpenhalterung und der Halterung für den Tank. Neben Auslegungsrechnungen und CAD-Konstruktionen wurden die technischen Zeichnungen für die Fertigung abgeleitet und Stücklisten erstellt. Gleichzeitig wurde die Radialkolbenpumpe in Matlab mathematisch modelliert. Zudem wurde der Versuchsplan zur experimentelle Charakterisierung der Pumpe ausgearbeitet.

Danach erfolgte der Aufbau des Prüfstands und der benötigten Sensorik, wie Drucksensoren, Drehgeber, usw. Nach der Inbetriebnahme wurden der Regler des Motors richtig eingestellt um zum einen die korrekte Solldrehzahlvorgabe sicherstellen zu können und um zum anderen das aktuelle Motordrehmoment und die Drehzahl direkt aus der Motorelektronik auslesen zu können.

Im nächsten Schritt wurden die Messungen nach dem Versuchsplan durchgeführt, um die Radialkolbenpumpe experimentell zu charakterisieren. Tatsächlich wurden drei Gruppen von Messungen durchgeführt, nämlich die Messung der Volumenstrom- Drehzahlkennlinie der Pumpe bei drei Systemdrücken (50 bar, 100 bar und 150 bar) und vier unterschiedlichen Saugdrosselstellungen, die Messungen zur Bestimmung des hydraulischen Pumpenwirkungsgrads und die Messung der Saugdrosselkennlinie. Diese Ergebnisse wurden ausgewertet und mit den Simulationen verglichen.

Nach allen Messungen wurde das gesamte Leistungsversorgungssystem mit der aLF eingesetzt. Damit das Leistungsversorgungssystem richtig funktioniert, wurde ein Volumenstromregler im Leistungsversorgungssystem angebaut. Für diese Volumenstromregelung wurde der Volumenstrombedarf aus der Aktorbewegung abgeschätzt. Nach dem Aufbau des Reglers wurden Messungen bei verschiedenen Drehzahlen durchgeführt, um die Funktion des Leistungsversorgungssystems im Einsatz zu überprüfen.

8.2 Ausblick

Im weiteren Projektverlauf könnte der Volumenstromregler der Pumpe verbessert werden. Ein modellbasierter Reglerentwurf könnte sich hier anbieten. Zusätzlich könnten realitätsnähere Hardware-in-the-Loop-Versuche durchgeführt werden, bei denen die Pumpendrehzahl an die Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs angepasst wird.

Literatur

- [1] Hedrich, P. *Design of an Active Air Spring Damper*, Aachen. 2014.
- [2] Brötz N. *Konstruktion und Inbetriebnahme eines hydraulischen Aktors für eine Luftfeder*. Masterthesis, Darmstadt. 2017.
- [3] Parker Hannifin GmbH. *Catalogue HY11-2500/UK Axial Piston Pumps*.
- [4] Gerhard M. *Auslegung und Aufbau der hydraulischen Leistungsversorgung für ein aktives Federbein*. Masterthesis, Darmstadt. 2016.
- [5] Wolfsried und Dr. Schiffer. *Aktive Body Control (ABC) das neue aktive Federungs- und Dämpfungssystem des CL-Coupé von Mercedes-Benz*.
- [6] LuK GmbH. *Bedarfsorientiert ansteuerbare Pumpe*. Bühl, 2002
- [7] Hehlhans. <http://www.hehlhans.de/sl55amg1/bilder/abc/abc-schema1.jpg>
- [8] Lynch GmbH. *Digital Display Proportional Valve Driver LE PPX*.
- [9] Murrenhoff, H. und Linden, D. *Grundlagen der Fluidtechnik. Umdruck zur Vorlesung*. Reihe Fluidtechnik 2. Inst. für Fluidtechn. Antriebe und Steuerungen, Aachen. 2012.
- [10] FUCHS EUROPE SCHMIERSTOFFE GMBG. *TITAN ZH 5364 B. PI60228e*, PMA, 2010
- [11] Watter H. *Hydraulik und Pneumatik Grundlagen und Übung Anwendungen und Simulation*. Tarp, 2015.
- [12] WilTEC GmbH. *Edelstahl Wärmetauscher Plattenwärmetauscher 10 Platten max. 22kW*
- [13] ASM GmbH. *POSIMAG-PMIS3/PMIS4 Magnetband Positionsensoren*.
- [14] dSPACE. *DS1103 PPC Controller Board Features*.
- [15] LEG GmbH. *SF1 Impulsverlängerung / Impulsformer*.
- [16] Lenze Gruppe. *IE3-Drehstrom-motoren m550-P*
- [17] Lenze Gruppe. *Inverter Drives 8400 motec. Referenzhandbuch*
- [18] Lenze Gruppe. *KHB_E84DGFCxxx_Communication_Unit_CANopen_v3-0_DE*
- [19] Guangcheng GmbH. *CANCOM Converter. Referenzhandbuch*
- [20] Faßbender A. *Theoretische und experimentelle Untersuchungen saugseitiger Widerstandssteuerungen bei Verdrängerpumpen*. Aachen, 1995.
- [21] Welschhof B. *Saugdrosselung – eine Phasenanschnittsteuerung in der Hydraulik*. O+P Ölhdraulik und Pneumatik 36 (1992) Nr. 7
- [22] Welschhof B. *Saugdrosselung – ein einfaches Prinzip zur Begrenzung des Fördervolumenstroms*. O+P Ölhdraulik und Pneumatik 34 (1990) Nr. 12
- [23] CAN in Automation. <http://www.can-cia-org>

Anhang A

Abbildungsverzeichnis

Bild 1-1 Aufbau der aktiven Luftfeder [2].	1
Bild 2-1 Hydraulisches Leistungsverversorgungssystem für die aktive Luftfeder [4].	3
Bild 2-2 Hydraulikschaltplan des ABC-System [7].	4
Bild 2-3 Funktionsweise der ABC Radialkolbenpumpe [6].	6
Bild 3-1 Schaltungsplan des Leistungsverorgung Systems.	7
Bild 3-2 ABC Pumpe und Schaltungsplan.	8
Bild 3-3 Funktionsweise der Ansteuerung des Überdruckventils.	9
Bild 3-4 [184] Einstellte Kennlinie des Chopper-Verstärkers.	10
Bild 3-5 [184] Analyse des Ausgangstromsignals in Frequenzbereich.	10
Bild 3-6 Chopper-Verstärker.	10
Bild 3-7 Plattenwärmetauscher.	13
Bild 3-8 Berechneter Verlauf von Motordrehmoment und Volumenstrom über die Motordrehzahl.	14
Bild 4-1 Hydraulischer Schaltplan des Leistungsverorgungsystems.	18
Bild 4-2 Leistungsverorgungssystem.	19
Bild 4-3 Pumpenhalterung am Motor.	20
Bild 4-4 Explosionsdarstellung der einzelnen Bauteile im CAD.	20
Bild 4-5 Ausrichtung Hilfe.	21
Bild 4-6 Filterhalterung.	22
Bild 4-7 Simulationsmodell zur Fertigkeitsberechnung der Pumpenhalterung.	23
Bild 4-8 Berechnete Vergleichsspannung an der belasten Pumpenhalterung.	24
Bild 4-9 Berechnete Verschiebung an der belasteten Pumpenhalterung.	24
Bild 4-10 Signalfluss der Motordrehzahlvorgabe.	28
Bild 4-11 dSpace Block für den Motor.	29
Bild 4-12 [183] Kalibration Drehzahlvorgabe.	29
Bild 4-13 [183] Abweichung der Solldrehzahl und Istdrehzahl in Prozent.	29
Bild 4-14 Adresse der CANopen Daten [18].	32
Bild 4-15 CAN Bus/RS232 Converter.	34
Bild 4-16 CAN-COM Anschluss [19].	35
Bild 4-17 RS 232 Anschluss [19].	35
Bild 4-18 Serial Bus Interface Einstellung in Matlab/Simulink.	37
Bild 4-19 Simulink Block für Serial Interface.	37

Bild 4-20 Code für Drehmomentauslesen über die RS-232-Schnittstelle.	38
Bild 4-21 Auswertung Model von Drehzahlgeber.	39
Bild 4-22 Ablaufdiagramm des Öltemperaturreglers.	39
Bild 4-23 [182_M1] Verlauf von der Temperatur bei einer Messung.	40
Bild 4-24 [182_M1] Verlauf von der Temperatur bei einem Messpunkt.	40
Bild 4-25 für die Leistungsversorgung Schaltungsschrank.	41
Bild 4-26 Elektrische Schaltplan.	42
Bild 5-1 Hubfunktion und Volumenbilanz.	43
Bild 5-2 Schnitt durch Radialkolbenpumpe.	44
Bild 5-3 Schnitt der Kolben im UT.	44
Bild 5-4 Schnitt der Kolben.	45
Bild 5-5 Drehwinkelabhängiger Blendenquerschnitt als Rechteck.	46
Bild 5-6 Idealer Verlauf des Volumenstrom der Radialkolbenpumpe der verschiedenen Saugdrosselstellungen.	48
Bild 5-7 Einfluss der Induktivität auf den Volumenstrom, in Anlehnung an Welschof [21].	49
Bild 5-8 Einfluss der Kompressibilität und des Lecköls auf den Volumenstrom, in Anlehnung an Welschof [21].	49
Bild 5-9 Einfluss der Fertigungstoleranz auf den Volumenstrom, in Anlehnung an Welschof [21].	50
Bild 6-1 Messaufbau zur Messung der Radialkolbenpumpe Kennlinie.	52
Bild 6-2 Schaltungsplan des gesamten Prüfungsstands.	53
Bild 6-3 GUI Messung Programm Interface.	54
Bild 6-4 Das Ablaufdiagramm der Messung.	54
Bild 6-5 [182_M2] Druckverlauf bei Systemdrucksollwert 100 bar.	55
Bild 6-6 [182_M2] Volumenstromverlauf über der Zeit bei der gleichen Konfiguration.	55
Bild 6-7 Volumenstrom Regler.	56
Bild 6-8 [175] Temperatursignal mit Rauschen.	56
Bild 6-9 [165] Temperatursignal ohne Rauschen.	56
Bild 6-10 [174] Reglungsverlauf unter verschiedene Drehzahl.	57
Bild 7-1 [182_M3] Pumpenkennlinien bei 55 bar und 150 bar im Vergleich mit der simulierten Kennlinie.	58
Bild 7-2 [182_M4] Pumpenkennlinie bei drei verschiedenen Saugdrosselstellungen.	59
Bild 7-3 [182_M5] Pumpenkennlinie bei drei verschiedenen Systemdrücken.	60
Bild 7-4 [182_M6] Leistung bei Systemdruck 150 bar Saugdrosselstellung 8V.	60
Bild 7-5 [182_M6] Gesamtwirkungsgrad bei Saugdrosselstellung 8V.	60
Bild 7-6 [182_M7] Saugdrosselkennlinie bei Systemdruck 150 bar und Drehzahl 2500 min ⁻¹ .	61

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1 Komponenten Liste von dem ABC-System.	5
Tabelle 3-1 Bezeichnung der einzelnen Komponenten.	7
Tabelle 3-2 technische Daten der ABC Radialkolbenpumpe.	8
Tabelle 3-3 Chopper-Verstärker Parameter.	10
Tabelle 3-4 technische Daten des hydraulischen Öls.	11
Tabelle 3-5 Technische Daten des Filters.	12
Tabelle 3-6 Technische Daten des Plattenwärmetauschers.	13
Tabelle 3-7 Beschreibung der Eingangsgrößen zur Motorauswahl.	14
Tabelle 3-8 Technische Anforderung an dem elektrischen Motor.	14
Tabelle 3-9 Technische Daten des Motors von Lenze.	15
Tabelle 3-10 Ausgänge des dSpace-Box [14].	16
Tabelle 3-11 Schnittstellen des Pegelwandlers [15].	16
Tabelle 4-1 Anforderungslist der Konstruktion der ABC Pumpe.	17
Tabelle 4-2 Stückliste des Leistungsverversorgungsystems.	19
Tabelle 4-3 Stückliste der einzelnen Bauteil der Pumpenhalterung.	20
Tabelle 4-4 Montagehilfe zur Ausrichtung der Pumpe.	21
Tabelle 4-5 Stückliste der Filterhalterung.	22
Tabelle 4-6 Einspannung der Simulation.	23
Tabelle 4-7 Last der Simulation.	23
Tabelle 4-8 Übersicht der Reglungsarten des Motors.	25
Tabelle 4-9 Grundparameter des Motors [16] [17].	26
Tabelle 4-10 Parameter für Reglungsart.	26
Tabelle 4-11 Bedeutung der Status-LED-Anzeigen [17].	27
Tabelle 4-12 Mögliche Fehler beim Betrieb des Motors.	28
Tabelle 4-13 Einstellung der Parameter für die CAN-Bus-Schnittstelle des Motors.	30
Tabelle 4-14 Parameter für die Zustandskontrolle der CAN-Bus-Schnittstelle.	30
Tabelle 4-15 Aufbau des CAN- Datentelegramms [18].	31
Tabelle 4-16 Motorparameter zum Auslesen der Istdrehmoments.	32
Tabelle 4-17 Beziehung zwischen Baudrate und Länge des Kabels [18].	34
Tabelle 4-18 LED Funktionsweise des RS-CAN Bus Converters [19].	35
Tabelle 4-19 Converter Einstellungsparameter.	36
Tabelle 4-20 Aufbau der seriellen Daten.	36
Tabelle 4-21 Drehgeber Pin Belegung.	38
Tabelle 4-22 Komponentenliste des elektrischen Schaltschranks.	41

Tabelle 5-1 Bauteil des Schnitts durch Radialkolbenpumpe.	44
Tabelle 7-1 Simulation- und Messungsergebnisse im Vergleich.	58

Verzeichnis der auf dem Datenträger gespeicherten Dateien

Datei	Anwendung	Beschreibung
Ausarbeitung\report_170713_S281_Hydraulische_Leistungsversorgung_aktives_Fahrwerk_Wang_Hedrich	Word2016	Dieses Dokument
Einleitung_Converter	Word2016	Die Einleitung des CAN Bus/RS232 Converters
Simulation\ Simulation_Pumpe.m	Matlab	Simulation der Radialpumpenkennlinie
Programm\ GUI.m	Matlab	Messprogramm
Auswertung\Pumpenkennlinie	Matlab	Auswertungsprogramm der Radialkolbenpumpe
Auswertung\Wirkungsgrad	Matlab	Auswertungsprogramm des Gesamtwirkungsgrads
Auswertung\Motor_Kalibration	Matlab	Auswertungsprogramm der Motorkalibration
Auswertung\Saugdrossel_kennlinie	Matlab	Auswertungsprogramm der Saugdrosselkennlinie
CAD\elek_Schaltplan\	Adobe	Elektrischer Schaltplan des Schrankes
CAD\hyd_Schaltplan\	Scheme Editor	Hydraulischer Schaltplan der Leistungsversorgungssystem
CAD\Konstruktion_Zeichnung\	Adobe	Technische Zeichnungen der Konstruktion
CAD\Konstruktion_gesamt\	SOLIDWORKS	CAD Model
Messdaten\	Matlab	Messdaten
Datenblaetter\	Adobe	Datenblätter