

**Hochschule Magdeburg-Stendal**  
**Fachbereich Ingenieurwissenschaften und Industriedesign (IWID)**  
**Institut für Elektrotechnik**

# **Bachelorarbeit**

**zur Erlangung des Grades eines "Bachelor of Engineering"**  
**im Studiengang Elektrotechnik**

**Thema: "Aufbau und Inbetriebnahme eines Prüfstands zur  
Analyse von Kraftstoffpumpenelektroniken"**

**Eingereicht von: Daniel Lochmann**

**Angefertigt für: B & W Fahrzeugentwicklung GmbH, Wolfsburg**

**Matrikel: E 2010**

**Ausgabetermin: 13. Februar 2014**

**Abgabetermin: 24. April 2014**

**Schulischer Betreuer: Herr Prof. Dr.-Ing. J. Auge**

**Betrieblicher Betreuer: Herr Dipl.-Ing. D. Müller**

## Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass die vorliegende Bachelorarbeit von mir selbstständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln angefertigt wurde. Weitergehend wurde die Arbeit noch nicht anderweitig im Rahmen einer Prüfung vorgelegt. Die ausschließlich verwendeten Hilfsmittel und Quellen sind in dem Literaturverzeichnis vermerkt.

Magdeburg, der 23. April 2014

---

Daniel Lochmann

## Inhaltsverzeichnis

Eigenständigkeitserklärung .....	I
Inhaltsverzeichnis .....	II
Abkürzungsverzeichnis .....	IV
Formelzeichenverzeichnis .....	VI
1. Einleitung.....	1
1.1. Motivation und Zielstellung.....	1
1.2. Aufgabenstellung.....	2
2. Stand der Technik.....	3
2.1. Beschreibung der Ausgangssituation .....	3
2.2. Sollzustand des Prüfstandes .....	6
3. Theoretische Grundlagen .....	8
3.1. Niederdruck-Kraftstoffsystem im Fahrzeug .....	8
3.2. Eigenschaften und Funktionen der Kraftstoffpumpenelektronik .....	10
4. Aufbau des Versuchstandes .....	15
4.1. Kommunikationsstruktur der Bauteile .....	15
4.2. Schutz vor Überstrom und Kurzschluss .....	16
4.3. Spannungsversorgung der Bauelemente .....	19
4.4. Ansteuerung und Strommessung der Steuergeräte .....	21
4.5. Aufnahme der Messgrößen und Ausgabe der Sollgrößen .....	25
4.6. Temperierung der Steuergeräte.....	28
4.7. Einstellmöglichkeiten der Last für die Kraftstoffpumpenelektroniken.....	29
4.8. Anordnung und Aufbau der Hardware.....	30
5. Softwareseitige Veränderungen .....	34

5.1. Einführendes zu der Programmierung .....	34
5.2. Umsetzung der Programmabläufe Automatikbetrieb und Handbetrieb .....	35
5.3. Unterfunktionen der Programme.....	44
5.3.1. Wiederholtes Einlesen einer .CSV-Datei .....	44
5.3.2. Sortierung und Skalierung der Signale .....	45
5.3.3. Analyse der PWM-Signale .....	46
5.3.4. Öffnen-Schreiben-Speichern .....	48
5.3.5. Kommunikation mit dem Klimaschrank .....	50
6. Experimentelle Untersuchungen .....	54
6.1. Prüfung – Funktionalität des Prüfstandes .....	54
6.2. Beispielprüfung – Jumpstart.....	64
7. Zusammenfassung und Ausblick .....	67
8. Verzeichnisse .....	69
8.1. Abbildungsverzeichnis .....	69
8.2. Tabellenverzeichnis .....	71
8.3. Literaturverzeichnis .....	72
9. Anhang.....	74

## Abkürzungsverzeichnis

AC	Alternating Current
A/D	Analog/Digital
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CAN	Controller Area Network
DC	Direct Current
EC	Electronical Commutation
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read Only Memory
EMV	elektromagnetische Verträglichkeit
FI	Fehlerstrom
IZP	Innenzahnradpumpe
I/O	Input oder Output
IP	Internet Protocol
Kfz	Kraftfahrzeug
Kl.	Klemme
KPE	Kraftstoffpumpenelektronik
LE	Leistungselektronik
LED	Light Emitting Diode
Lkw	Lastkraftwagen
LS	Leitungsschutz
MSG	Motorsteuergerät
NDS	Niederdrucksensor
NI	National Instruments
NPN	Transistor aus n- und p-dotierten Schichten
NVRAM	Non-Volatile Random-Access Memory
PC	Personal Computer
PE	Protective Earth
PWM	Pulsweitenmodulation
Schuko	Schutzkontakt
SubVI	Unterprogramm in LabView
TCP	Transmission Control Protocol

TK	Türkontakt
TVH	Tastverhältnis
USB	Universal Serial Bus
UV	Unterverteilung
µC	Mikrocontroller

## Formelzeichenverzeichnis

Formelzeichen	Bezeichnung	Einheit
$t_{low}$	Pulsweite des High-Pegels	$s$
$t_{last\_low}$	Timer-Wert des letzten Low-Pegels	$ms$
$t_{last\_high}$	Timer-Wert des letzten High-Pegels	$ms$
$I_N$	Nennstrom	$A$
$I_{Omax}$	Max. Ausgangsstrom NI 9474	$A$
$V_{Sup}$	Ausgangsspannung NI 9474	$V$
$I_{Bmax}$	Max. Basisstrom	$A$
$I_{CEmax}$	Max. Strom Kollektor-Emitter	$A$
$h_{FE}$	Verstärkungsfaktor	-
$R_B$	Basiswiderstand	$\Omega$
$V_{OUT}$	Ausgangsspannung	$V$
$p$	Druck	$bar$
$P$	Dichte	$\frac{kg}{m^3}$
$Q$	Volumenstrom	$\frac{m^3}{s}$
$A$	Querschnitt	$m^2$

# 1. Einleitung

## 1.1. Motivation und Zielstellung

Die Ansprüche an Funktionen und Qualität von Automobilen steigen ununterbrochen. Wichtige Schlagworte dabei sind Zuverlässigkeit, Komfort und Umweltfreundlichkeit. Der stetig zunehmende Wettbewerbsdruck in der Automobilindustrie führt zu einer immer weiter steigenden Bedeutung der Kostenoptimierung bereits bei der Produktentwicklung. Zu diesem Zweck werden verstärkt Prüfstände eingesetzt, da diese gleichbleibende Prüfungen und Prüffeldumgebungen bei geringen Kosten garantieren.

Die Kraftstoffversorgung ist ein zwingender Bestandteil für den Betrieb eines Verbrennungsmotors. Somit ist die Motivation hoch, diese stets zu garantieren. Um dies zu gewährleisten, wird das Kraftstoffversorgungssystem samt Steuergeräte ständig weiterentwickelt.

Für Funktionsprüfungen von Kraftstoffpumpenelektroniken (KPE) wird bei der B&W Fahrzeugentwicklung GmbH bereits ein Prüfstand eingesetzt. Dieser Prüfstand soll in Zukunft durch einen Klimaschrank und weitere Sensoren erweitert, sowie dessen Bedienung mithilfe einer überarbeiteten LabView-Oberfläche vereinfacht werden.

Durch den Einsatz eines Klimaschranks können die realen Umgebungsverhältnisse, die in oder um ein Kraftfahrzeug (Kfz) herrschen, weitaus besser simuliert werden, sodass die Aussagekraft der Messergebnisse an Qualität gewinnt. Für die Bedienung des Prüfstandes ist eine Vorgabe von Sollkurven über eine Datei vorgesehen, welche die Sollwerte in tabellarischer Form beinhaltet. Hierdurch können Prüfungen wesentlich einfacher reproduziert werden. So gewonnene Prüfergebnisse sind daher aufschlussreicher für Vergleiche von Steuergeräten verschiedener Hersteller.

## 1.2. Aufgabenstellung

Im Rahmen der Bachelorarbeit soll der Prüfstand zur Analyse von Kraftstoffpumpenelektroniken erweitert werden. Dies beinhaltet sowohl die Projektierung des Versuchsaufbaus, die Montage, als auch die Programmierung der geforderten Funktionalitäten. Auf die Forderungen wird in Kapitel 2.2 eingegangen. Die Schwerpunkte der Arbeit sind zusammenfassend noch einmal dargestellt:

- Auswahl der Komponenten und Bauteile
- Prüfstandsentswurf und Aufbau
- Einbindung eines Klimaschranks
- Programmierung der Messwert-Aufnahme, Messwert-Verarbeitung und der Signalausgabe
- Erstellung einer Bedienoberfläche
- Inbetriebnahme und Test der Funktionalität des Prüfstandes

## 2. Stand der Technik

### 2.1. Beschreibung der Ausgangssituation

Um einen besseren Einblick über den Stand des KPE-Prüfstandes vor Beginn der Entwicklungsarbeit zu erlangen, wird im Folgenden die vorhandene Hardware beschrieben:

- Versorgungsspannung:
  - Angeschlossen wird der Prüfstand an das 230-V-Netz
  - Die Kraftstoffpumpenelektroniken und die Sensorik werden über sechs Netzteile versorgt:
    - Ein Open-Frame-Netzteil  $\pm 15$  V für die Stromsensoren
    - Ein Open-Frame-Netzteil 24 V für den Druckregler und Drucksensor
    - Vier geschlossene Case Netzteile +15 V für die Leistungsversorgung der KPE und Pumpen
- Messtechnik:
  - National Instruments (NI) Messsystem mit Messkarten für:
    - Analog Input  $\pm 10$  V mit 8 Kanälen
    - Analog Input  $\pm 60$  V mit 8 Kanälen
    - Analog Output  $\pm 10$  V mit 4 Kanälen
    - Digital Output +24 V mit 2 Kanälen für Impulsfolgen
  - Vier Drucksensoren mit einem Messbereich von 0...10 bar
  - Vier Stromwandler zur Strommessung für einem Messbereich  $\pm 30$  A
- Druckregler für Druckluft mit einem Regelbereich von 0 bis 7 bar
- Vier Regelventile als Schnittstelle zwischen Druckluft- und Ersatzmedium-System
- Computer mit installierter LabView Programmiersoftware

Ein Luftkompressor stellt einen Basisdruck von ca. 10 bar zur Verfügung. Die erforderlichen Drücke werden je nach Sollwertvorgabe mithilfe des Druckreglers für die Prüfungen eingestellt. Über das Regelventil wird dann indirekt durch den Druckregler der Druck in dem System mit dem Ersatzmedium Stoddard gesteuert, siehe Abbildung 1.

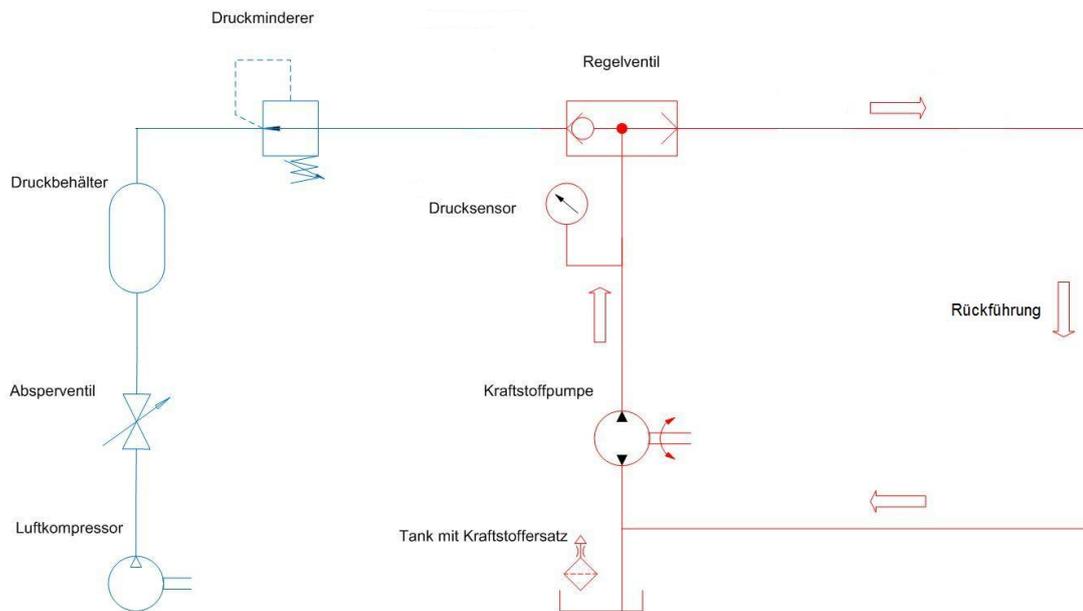


Abbildung 1: Drucksysteme des Versuchstandes

Das Lösungsmittel Stoddard dient für den Prüfstand als Ersatzmedium für Benzin bzw. Diesel. Es handelt sich dabei um aufbereitetes Erdöldestillat, welches ähnliche Eigenschaften wie die Kfz-Kraftstoffe hat, sodass die notwendige Schmierung gegeben ist, welche die eingesetzten Kraftstoffpumpen für einen verschleißarmen Betrieb benötigen. [1] Verwendet wird das nicht entzündliche Ersatzmedium, damit der Prüfstand nicht in einem Explosions (EX)-Schutzbereich betrieben werden muss.

Ausgehend von dieser Hardware wurden mittels der Software LabView die drei Grundfunktionen Signalmessung, Signalerzeugung und Signalverarbeitung realisiert. Es konnten so die anliegende Bordnetzspannung und das pulsweitenmodulierte Signal, welches die Kraftstoffpumpenelektroniken ansteuert, sowie deren Eingangsstrom und der Systemdruck, welcher durch die arbeitenden Pumpen entsteht, gemessen werden. Weitergehend konnte ein PWM-Signal ausgegeben werden, welches für die Ansteuerung der Steuergeräte zuständig ist. Auf die genaue Funktion des PWM-Signals und der Bordnetzspannung wird in Kapitel 3.2 eingegangen. Die Signalerzeugung beinhaltete außerdem eine analoge Spannung zur Steuerung des verbauten Druckreglers. Eine Bedienoberfläche, die unter Verwendung von LabView erstellt wurde, diente hauptsächlich zur Messwertdarstellung. Hier konnten Informationen, wie die Länge und der Name der Prüfung, die Teile-

nummer der KPE usw. eingegeben sowie die Prüfung gestartet und abgebrochen werden. Darüber hinaus beinhaltete die LabView-Programmierung die Ermittlung der Tastverhältnisse (TVH) der Ansteuersignale und eine Fehlerdokumentation von Störungen, die bei der Ermittlung der TVH auftraten. Abschließend wurden die aufgenommenen Messwerte, eingegebenen Informationen und ermittelten Daten in einer Datei (.TDMS) abgespeichert.

Diese Funktionen waren für maximal vier angeschlossene Steuergeräte verfügbar, sodass mit einer Prüfung parallel vier Kraftstoffpumpenelektroniken angesteuert und deren „Reaktionen“ gemessen werden konnten. Darüber hinaus konnten sowohl Steuergeräte für Gleichstrom (DC)-Pumpen als auch für elektronisch kommutierte (EC)-Pumpen angeschlossen werden. Einzige Bedingung dafür war der Anschluss der korrespondierenden Pumpe.

Es waren zwei Betriebsarten möglich. Zum einen der Handbetrieb, bei dem der Druck und das TVH manuell über Drehschalter gesteuert wurden und zum anderen der Automatikbetrieb, bei dem für Druck und TVH eine feste Sollkurve programmiert und die Funktion des Abspeicherns gegeben war.



Abbildung 2: Prüfstand vor der Erweiterung

## 2.2. Sollzustand des Prüfstandes

Im folgenden Kapitel wird auf die, neben der Aufgabenstellung, geforderten Randbedingungen und Anforderungen für die Erweiterung des Prüfstandes eingegangen.

Der Versuchstand soll in der Lage sein, neben einem Programm für einen Automatikbetrieb auch eine Kombination aus Automatik- und Handbetrieb anzubieten. Das Programm „Dauerlauf & Handbetrieb“ sieht vor, dass an den Anschlüssen KPE 1 und KPE 2 Steuergeräte angeschlossen und diese einer automatisierten Dauerlaufprüfung unterzogen werden. An den Anschlüssen KPE 3 und KPE 4 wird die Möglichkeit eines Handbetriebes gegeben. Dieser beinhaltet das manuelle Einstellen der Bordnetzspannung, des PWM-Signals und des Drucks über die LabView-Oberfläche. Somit ist der Prüfstand in der Lage, einen Dauerlauf auszuführen und parallel Steuergeräte auf ihre Funktionsfähigkeit zu testen. Außerdem soll es möglich sein, die Amplitude der anliegenden Bordnetzspannung verändern zu können, um so auch unterschiedliche Betriebsspannungen prüfen zu können. Dafür wird die Bordnetzspannung mit steuerbaren Netzteilen simuliert. Ist im Folgenden von Simulieren der Bordnetzspannung die Rede, beinhaltet dies nur eine Imitation verschiedener Betriebsspannungspegel und nicht eine vollständige Bordnetzsimulation für Kfz.

Damit die Betriebsarten Automatik- und Handbetrieb parallel ablaufen können, müssen zwei getrennt voneinander steuerbare Systeme geschaffen werden. Hierfür muss die entsprechende Hardware vorhanden sein und über die Software die Parameter Bordnetzspannung, Druck und Ansteuerung der KPE für jedes System gegeben sein..

Desweiteren soll neben dem Anschluss und der Steuerung eines Klimaschranks eine Temperaturmessung jeden Steuergerätes sowie deren Umgebungstemperatur realisiert werden. Darüber hinaus ist außer der Messung der Eingangsströme, auch die Messung der Strangströme der KPE gewünscht. Beschränkt wird die Messung dabei auf einen Strangstrom pro Steuergerät, abgesehen von dem Anschluss für die Kraftstoffpumpenelektronik 3. Hier können drei Strangströme gemessen werden, sofern ein EC-Steuergerät und eine EC-Pumpe angeschlossen ist.

Um die LabView-Bedienoberfläche zu vereinfachen, soll es möglich sein, über eine Datei (.CSV) die Sollkurven für die Bordnetzspannung, den Druck und die PWM-Signale vorzugeben. Weitergehend soll die Möglichkeit geschaffen werden, diese Datei mehrmals einlesen zu können, falls sich die Prüfabläufe innerhalb einer Dauerprüfung wiederholen. Zuletzt soll die Signalverarbeitung, neben der Ermittlung des TVH aus den pulsweitenmodulierten Signalen, auch die Analyse von bis zu acht Fehlern beinhalten. Diese können von den Steuergeräten ausgegeben werden, worauf in Kapitel 3.2 vertiefend eingegangen wird.

Für die zahlreichen Erweiterungen muss die vorhandene Hardware teilweise verändert werden. Die wesentlichen Punkte werden in folgender Auflistung dargestellt:

- Versorgungsspannung:
  - Zwei steuerbare Netzteile für die „Simulation“ von variierenden Betriebsspannungen
- Messtechnik:
  - Messkarte für die Temperaturmessung der Umgebung und der KPE
  - Messkarte für die erweiterte Strommessung
- Zwei Druckregler, um zwei getrennt steuerbare Systeme zu erhalten
- Einbindung eines Klimaschranks vom Typ WEISS WKL 100
- Einbau der Hardware in ein 19 Zoll Rack

### 3. Theoretische Grundlagen

#### 3.1. Niederdruck-Kraftstoffsystem im Fahrzeug

Bei Fahrzeugen neueren Baujahres ist das unregulierte Kraftstoffsystem durch ein bedarfsgeregeltes oder kennfeldgesteuertes ersetzt. Dies trägt zur Verringerung der benötigten elektrischen Leistung und damit zur Kraftstoffersparnis bei. Ein 1,8l-Motor erzielt somit beispielsweise eine Verringerung der elektrischen Leistung um 60 – 70 %, welche laut „Faustformel“ eine Ersparnis von ca. 1,5 – 2 g CO<sub>2</sub> pro Kilometer zu Folge hat. [2]

Prinzipiell ist das Kraftstoffsystem in modernen Kfz mit Otto- oder Dieselmotoren aus einem Niederdruck- und einem Hochdruckteil zusammengesetzt. Der Hochdruckteil befindet sich im und am Motorblock und ist grundsätzlich für die Einspritzung des Kraftstoffs über die Einspritzventile zuständig. Die Druckpegel liegen für Ottomotoren im Niederdruckteil zwischen 0,5 und 6,5 bar, im Hochdruckteil von 30 bis 110 bar. [3] Im Vergleich dazu liegen die Druckbereiche bei Dieselmotoren höher. Im Niederdruckteil betragen die Druckpegel 3,5 bis 6,8 bar und im Hochdruckteil sogar zwischen 230 und 1800 bar. [4] Für die Dieselmotoren sind bereits höhere Drücke im Hochdruckbereich in der Entwicklung.

Für den zu errichtenden Prüfstand ist allerdings nur der Niederdruckteil von Interesse, da dieser die Ansteuerung der Kraftstoffpumpen-Steuergeräte beinhaltet und deren Reaktion indirekt über das Verhalten der Kraftstoffpumpen aufzeigt. Die Hauptaufgabe des Niederdruckteils für Ottomotoren ist das Bereitstellen des aktuell benötigten Kraftstoffs. [3] Bei Dieselmotoren dient die Kraftstoffförderung zusätzlich zur Schmierung und vor allem Kühlung der Hochdruckpumpe.

Dafür steuert die KPE die im Tank sitzende Kraftstoffpumpe (EC oder DC) an. Aus einem Schwalltopf wird Kraftstoff durch den Kraftstofffilter hin zur Hochdruckpumpe gefördert. Bei Dieselmotoren wird die Förderung mit einer Innenzahnradpumpe (IZP) realisiert, da damit stetig ein Volumenstrom gegeben ist. In Ottomotoren werden für diese Funktion Flügelradpumpen eingesetzt. Der Schwalltopf umgibt die Kraftstoffördereinheit und wird durch eine Saugstrahlpumpe gefüllt. Dies dient dazu, auch bei einem niedrigen Füllstand

im Tank und zusätzlich auftretenden Längs- und Querbeschleunigungen, eine konstante Kraftstoffversorgung der IZP zu gewährleisten. Ein sicherer Betrieb des Verbrennungsmotors ist nur so gegeben. [5]

Die benötigte Menge an Kraftstoff ermittelt das Motorsteuergerät (MSG). Dort laufen aktuelle Informationen über die Öltemperatur, Lufttemperatur, Motordrehzahl etc. zusammen. Bei Volkswagen (VW) wird hauptsächlich das kennliniengesteuerte Kraftstoffsystem eingesetzt, bei dem aus den genannten Informationen die Pumpendrehzahl eingestellt wird. Allerdings gibt es auch das bedarfsgeregelte System, bei dem der momentane Kraftstoffdruck gemessen wird und dieser anhand der weiteren Informationen geregelt wird. In diesem Fall wird der Druck von dem Kraftstoffdruckgeber für Niederdruck, oder auch Niederdrucksensor (NDS), gemessen. In beiden Fällen wird bei Abweichungen vom Kennfeld oder Solldruck, die PWM-Ansteuerung für die KPE geändert, sodass die Drehzahl der Kraftstoffpumpe und damit der Kraftstoffdruck dementsprechend angepasst werden. [3]

In Abbildung 3 wird der Aufbau und Zusammenhang zwischen dem MSG, der Kraftstoffpumpenelektronik und der Kraftstofffördereinheit bis hin zur Hochdruckpumpe dargestellt. In diesem Aufbau ist der optionale Niederdruckgeber mit eingezeichnet.

#### Niederdruck-Kraftstoffsystem

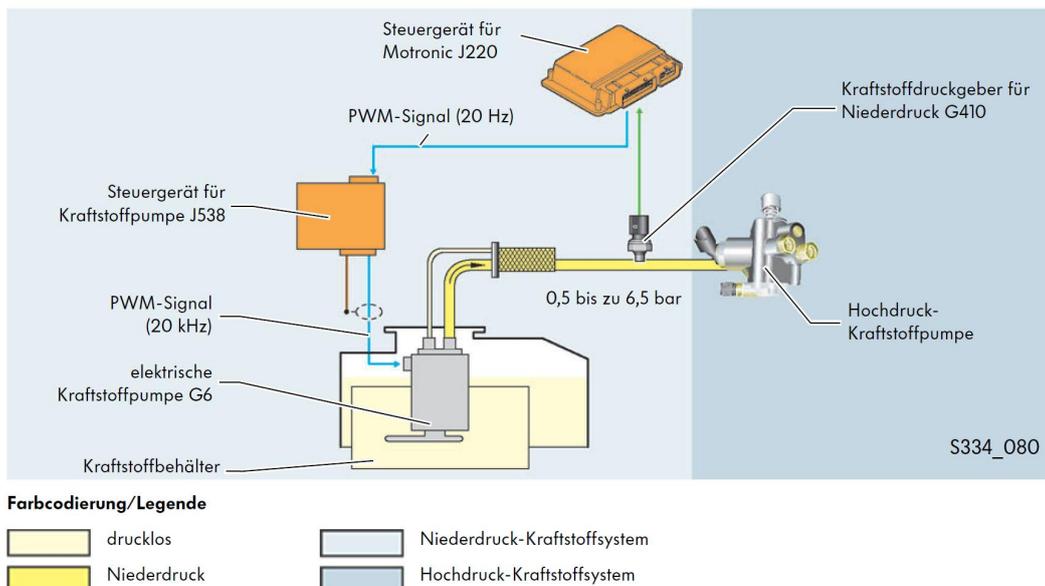


Abbildung 3: Aufbau des Niederdruck Kraftstoffsystem [3]

### 3.2. Eigenschaften und Funktionen der Kraftstoffpumpelektronik

Die Kraftstoffpumpelektronik ist die Schnittstelle zwischen dem Motorsteuergerät und der Kraftstoffpumpe im Fahrzeug. Sie ist für die Steuerung der angeschlossenen Kraftstofffördereinheit zuständig. Im einfachsten Fall handelt es sich bei der Pumpe um einen Gleichstrommotor, bei dem die Drehzahl mithilfe der Spannung gesteuert wird. Andernfalls steuert die KPE einen elektronisch kommutierten Gleichstrommotor an, welcher sich im Aufbau nicht von einem Dreiphasen-Synchronmotor unterscheidet. Jedoch wird zusätzlich ein Umrichter benötigt, der aus der Gleichspannung (Bordnetz) ein Drehfeld erzeugt. Die Drehzahl des EC-Motors wird ebenso über die Strangspannung gesteuert. Ein derartiger Frequenzumrichter ist bei EC-Steuergeräten bereits implementiert. [6]

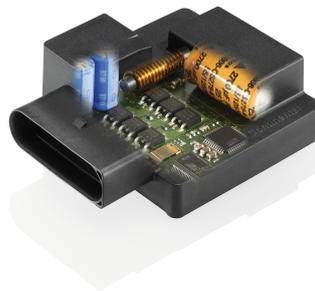


Abbildung 4: Beispiel Kraftstoffpumpelektronik [2]

Zwischen der KPE und dem Motorsteuergerät herrscht eine bidirektionale Kommunikation. Diese dient zur Ansteuerung der Kraftstoffpumpelektronik und zur Signalisierung von aufgetretenen Fehlern. Das Motorsteuergerät zieht den Anschluss der KPE getaktet von dem Potential der anliegenden Bordnetzspannung auf Massepotential, sodass an dem Steuergerät ein PWM-Signal anliegt. Die Frequenz ist dabei immer konstant, jedoch variiert das Tastverhältnis des Signals. Dieses entspricht der Sollförderleistung, welche die Kraftstoffpumpe aufbringen soll. Eine Steigerung des TVH hat dabei eine Erhöhung der Pumpendrehzahl zur Folge. Die Kraftstoffpumpelektronik erzeugt aus der Information ein entsprechendes Ansteuersignal für die Pumpe. Dieses Signal ist auch ein pulsweitenmoduliertes Signal, um so den Mittelwert der Strangspannung weitestgehend verlustfrei steuern zu können. Weitergehend ist eine KPE in der Lage, verschiedene Fehler selbst zu diagnostizieren. Hierfür ist das Steuergerät imstande, den PWM-Anschluss selbst

auf Massepotential zu ziehen, da somit dem MSG ein Fehler signalisiert wird. Siehe Transistorschaltung in Abbildung 4. Je nach Art des Fehlers (siehe Tabelle 1) liegt der Anschluss dann für eine spezifische Zeit auf Masse. So kann auch die Information über die Art des bestehenden Fehlers übermittelt werden. Liegt dieser Fehler dauerhaft an, wird die Massetaktung bei Steuergeräten für VW-Fahrzeuge fünfmal hintereinander vollzogen. Ist dies der Fall, wird der Fehler in dem Fehlerspeicher des Motorsteuergerätes abgelegt. [6]

Allerdings sind die Fehler der Kraftstoffpumpenelektroniken nicht genormt, sondern können in der Art des Fehlers oder der Signalsierung ( $t_{low}$ ) unterschiedlich sein. In der folgenden Tabelle ist beispielhaft die Fehlerrückmeldebeschreibung einer EC-KPE aufgelistet.

<b>Fehlernummer</b>	<b><math>t_{low}</math></b>	<b>Fehlerbeschreibung</b>
1	100 ms $\pm$ 10ms	Fehler EEPROM / NVRAM
2	200 ms $\pm$ 10ms	Übertemperatur Endstufe
3	300 ms $\pm$ 10ms	Phasenüberstrom
4	400 ms $\pm$ 10ms	Blockierter Rotor
5	500 ms $\pm$ 10ms	Kurzschluss
6	600 ms $\pm$ 10ms	Unterbrechung Phasenleitung
7	700 ms $\pm$ 10ms	Drehzahlabweichung
8	800 ms $\pm$ 10ms	Unplausible interne Größe

Tabelle 1: Beispiel, Diagnosefähigkeit KPE [6]

Die Frequenz des PWM-Signals für die Ansteuerung der KPE liegt je nach Steuergerät bei 20 Hz oder bei 100 Hz bei Modellen, die bei VW verwendet werden. Die Motoren benötigen eine Ansteuerung mit höherer Frequenz, damit sie einen ruhigeren Lauf haben. Aus diesem Grund werden die Pumpen mit 10 bis 20 kHz angesteuert. [7]

Das Steuergerät ist immer in direkter Nähe vom Tank des Kraftfahrzeugs verbaut. Entweder außen direkt am Tank oder innen unter der Rücksitzbank. Dies hat den Vorteil, dass die Leitungslänge der Kabel zwischen KPE und Kraftstofffördereinheit minimal gehalten wird. Dadurch ist eine bessere elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) gegeben. Der

Funktionsbereich eines Steuergerätes muss bei einer Bordnetzspannung im Bereich von  $6\text{ V} \leq U \leq 16\text{ V}$  [7] und einer Temperatur von  $-40\text{ °C}$  bis  $+80\text{ °C}$  stets gegeben sein. [6]

In Abbildung 5 sind die Ein- und Ausgangsklemmen einer EC-KPE zu erkennen. Zwischen Klemme (Kl.) 87 und 31 liegt die Bordnetzspannung an. Die bidirektionale Kommunikation ist mit dem  $\text{PWM}_{\text{ECKP}}$  gegeben. Weitergehend ist die Transistorschaltung erkenntlich, die das Signalisieren eines Fehlers ermöglicht. Außerdem ist der Mikrocontroller ( $\mu\text{C}$ ) sowie die Leistungselektronik (LE) mit den drei Strängen (U, V, W) an dem Ausgang schematisch dargestellt. Die EC-Pumpen können dabei entweder in Stern- oder in Dreieckschaltung betrieben werden. Im Konzern Volkswagen ist die Dreiecksschaltung üblich, da es sich um Drehstrommotoren kleinerer Leistungen ( $< 200\text{ W}$ ) handelt. Bei Motoren kleinerer Leistungen sind die auftretenden Anlaufströme in den Strangwicklungen nicht so hoch, dass ein Anlauf in der Sternschaltung nötig ist.

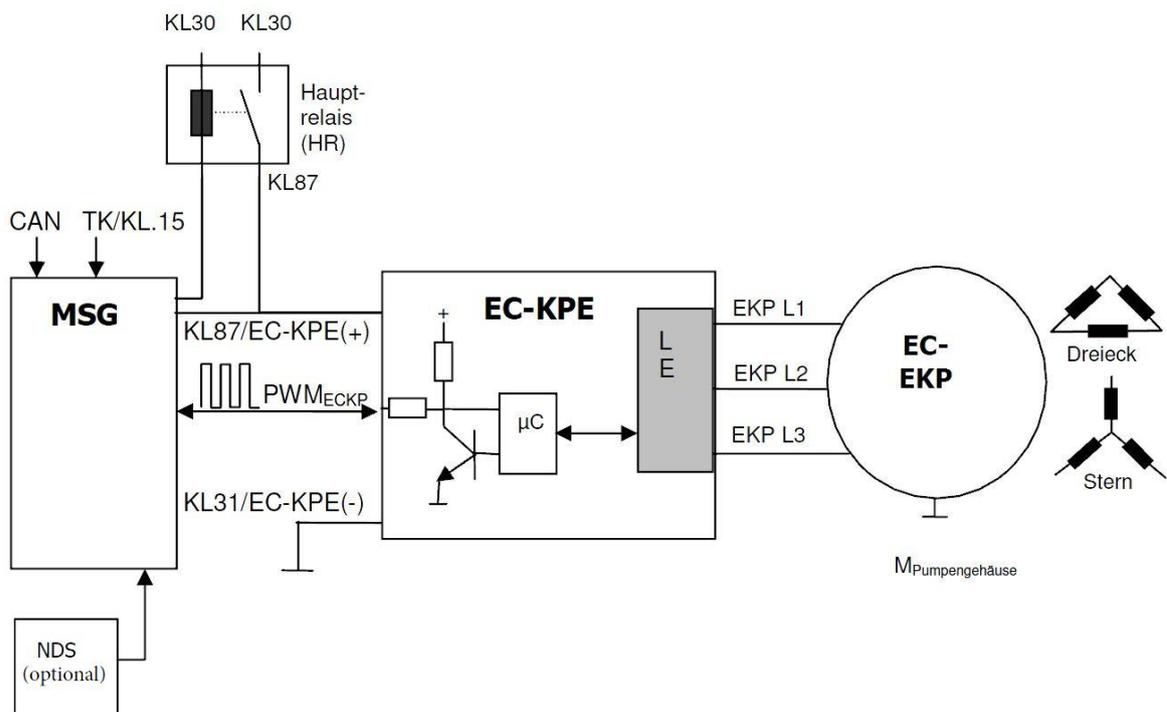


Abbildung 5: Systemumgebung einer KPE [6]

Im Anhang A ist die Liste der Klemmenbezeichnungen im Kfz nach DIN 72552 zu finden.

Die Kraftstoffpumpe und die KPE bilden zusammen einen geschlossenen Regelkreis, sofern wie in der Abbildung 5 ersichtlich, eine EC-Pumpe angeschlossen wird. Es handelt sich bei den verwendeten EC-Pumpen um sensorlose Motoren, allerdings wird die induzierte Gegenspannung gemessen. Dies ist immer dann möglich, wenn ein Strang für kurze Zeit stromlos ist. Mit der Rückmeldung über die Gegenspannung kann das Steuergerät die Kommutierung einstellen. [6]

Aus diesem Grund ist es von Vorteil, die Last der Steuergeräte mit den realen Kraftstoffpumpen zu erzeugen, anstatt sie mit einer elektronischen Last zu simulieren. Weitergehend können so auch Fehler auftreten, die durch mechanische Probleme bei der Pumpe verschuldet sind. Zum Beispiel ein Drehfeldverlust, wenn der Rotor des Motors blockiert. Die Last der Pumpe wird durch den Druck bestimmt, der sich im Kraftstoffsystem für Niederdruck einstellt. Je höher dieser ist, desto größer muss die Kraft der Pumpe sein, um diesem entgegen wirken zu können. Das Drehmoment der Pumpen wird bei konstanter Spannung und Drehzahl über den Strom gesteuert, sodass dieser ansteigt wenn sich der Druck erhöht.

Zusammenfassend sind in der folgenden Tabelle die Betriebszustände, für bei VW eingesetzte Kraftstoffpumpenelektroniken aufgeführt.

Parameter	Betriebszustand
Versorgungsspannung	$6\text{ V} \leq U \leq 16\text{ V}$
Betriebstemperatur	-40 °C bis + 80° C
Eingangssteuersignal	Frequenz: 100 Hz $\pm$ 5 Hz (EC-KPE) 20 Hz (DC-KPE) TVH: 10 % bis 95%
Ausgangssignal	10 kHz $\pm$ 2 Hz bis 20 kHz $\pm$ 2 Hz

Tabelle 2: Spezifikation der Betriebsbereiche einer KPE

Elektronische Komponenten, welche in Kfz bis 3,5 t verbaut sind, werden bei VW nach der Konzerneigenen Norm „VW 80000“ geprüft. Mithilfe des neuen Prüfstandes wären grundsätzlich folgende Prüfungen umsetzbar:

- E-01 Langzeitüberspannung
- E-04 Jump-Start
- E-07 langsames Absenken & Anheben der Bordnetzspannung
- E-08 langsames Absenken & schnelles Anheben der Bordnetzspannung
- K-01 Hoch-/Tieftemperaturlagerung
- K-02 Stufentemperaturtest
- K-03 Tieftemperaturtest
- K-05 Temperaturschock (Komponente)
- K-16 Temperaturschock (ohne Gehäuse)



## 4.2. Schutz vor Überstrom und Kurzschluss

Ein Not-Aus-Schalter, zwei Leitungsschutzschalter (LS) und mehrere Schmelzsicherungen bilden die Schutzeinrichtung des Prüfstandes. Sie dienen vorrangig zum Schutz des Bedieners vor einem elektrischen Schlag, wenn ein Fehlerfall eintritt und zum Schutz der Anlage vor Zerstörung durch Überstrom. Gegen einen Kurzschluss ist die Anlage oder der Bediener über den magnetischen Auslöser der Leitungsschutzschalter geschützt. Falls ein Fehler eintritt und Differenzströme durch einen menschlichen Körper oder eine beschädigte Isolierung fließen, dann sind diese über den Fehlerstrom (FI)-Schutzschalter, welcher sich in der Unterverteilung (UV) des 230-V-Netzes befindet, abgesichert.

Mit Hilfe des Not-Aus-Schalters wird die Verbindung zwischen der Phase des 230-V-Versorgungsnetzes und den Netzteilen unterbrochen, sodass der komplette Prüfstand spannungslos geschaltet wird. So kann ebenfalls ein schneller Stillstand der Pumpenmotoren gewährleistet werden. Verwendet wird hierfür ein Not-Aus-Taster von der Firma Schlegel mit zwei Tastkontaktgebern vom Typ MTO.

Ein Leitungsschutzschalter ist ebenso in der Lage, die Verbindung zwischen einer 230-V-Phase und einem Netzteil zu unterbrechen. Jedoch trennt dieser die Verbindung über einen Bi-Metallstreifen, welcher bei einem spezifischen Strom automatisch auslöst oder den bereits erwähnten magnetischen Auslöser. Für die Dimensionierung der LS muss zunächst der im Nennbetrieb fließende Strom ermittelt werden. Wie dem Schaltplan (Abbildung 7) zu entnehmen ist, bestehen die angeschlossenen Verbraucher aus vier Netzteilen. Aus den zugehörigen Datenblättern [8] [9] [10] gehen folgende Nennströme bei 230 V AC hervor:

- Meanwell SPV-1500-24:  $I_{N_1} = I_{N_2} = 8 A$
- Meanwell PS 25-24:  $I_{N_3} = 0,4 A$
- Meanwell PD 2515:  $I_{N_4} = 0,4 A$

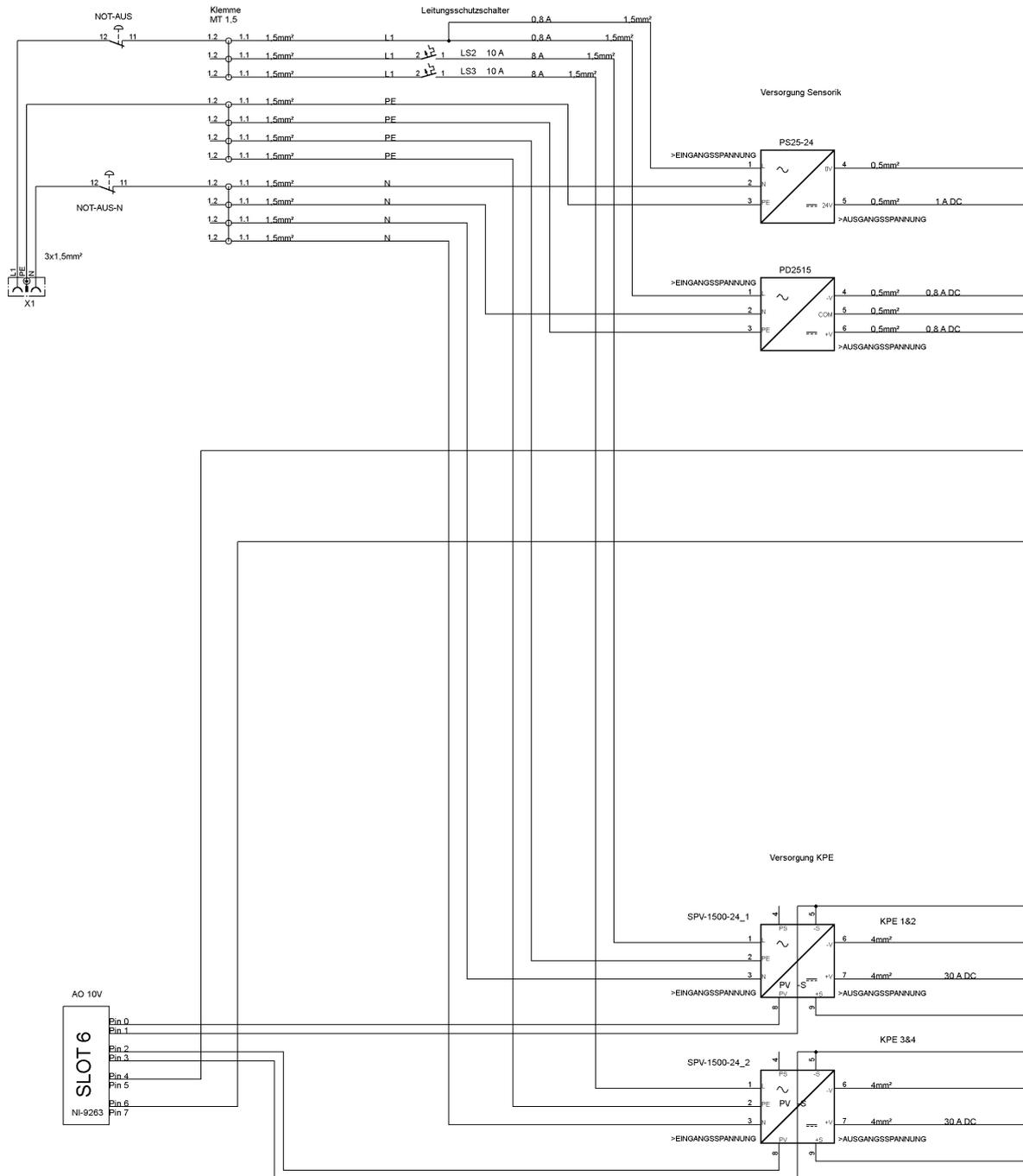


Abbildung 7: Schaltplan der Spannungsversorgung

Da die Netzteile parallel zueinander verschaltet sind, addieren sich die vier Ströme zu dem Gesamtstrom, wie in der Gleichung 1 aufgeführt.

$$I_{N_{Ges}} = I_{N_1} + I_{N_2} + I_{N_3} + I_{N_4} \quad \text{Gleichung 1}$$

$$I_{N_{Ges}} = 8 \text{ A} + 8 \text{ A} + 0,4 \text{ A} + 0,4 \text{ A} = 16,8 \text{ A}$$

Aufgrund des selektiven Abschaltens kann kein LS mit einem Nennstrom größer gleich 16 A verwendet werden, denn üblicherweise werden in den Unterverteilungen von Gebäuden Leitungsschutzschalter vom Typ B16 verwendet. Aus diesem Grund kommen zwei LS vom Typ B10 in dem Prüfstand zum Einsatz. Ein Leitungsschutzschalter B10 sichert dabei jeweils ein Meanwell SPV-1500-24 Netzteil ab, die beiden Netzteile PS 25-24 und PD 2515 sind lediglich über die UV mit abgesichert. Gemessen wurde ein realer Nennstrom von 9,76 A. Dadurch wird der Leitungsschutzschalter in der UV auch nicht stetig mit seinem Betriebsnennstrom von 16 A belastet. Andernfalls wäre eventuell eine Aufrüstung auf einen B20 in der Unterverteilung notwendig gewesen oder eine Umrüstung des Prüfstandanschlusses auf Drehstrom. Die LS-Schalter von der Firma ABL-Sursum schützen den Prüfstand so vor einem Überstrom, welcher zu einer Beschädigung durch zu hoher Hitze führen würde und grenzt zudem durch das selektive Abschalten den Fehlerradius ein. Darüber hinaus ist die Ausfallsicherheit durch die Trennung mit den zwei LS erhöht, da trotz Auslösen eines B10 Automaten immer noch ein „KPE Strang“ betriebsbereit bleibt und gemessen werden kann.

Für die Ansteuerung (Massetaktung) der KPE werden Transistoren verwendet, welche auf Platinen verbaut sind. Auf die genaue Funktion wird in Kapitel 4.4 eingegangen. Um die fest verbauten Transistoren vor Zerstörung zu bewahren, werden Schmelzsicherungen eingesetzt. Diese begrenzen den Strom, der durch die Transistoren fließt, auf maximal 200 mA. Steigt der Strom höher an, so schmilzt das Metall der Sicherung und unterbricht somit die Verbindung zu den Transistoren. Grund für den Einsatz der Schmelzsicherungen ist nicht der Preis der Transistoren, sondern um die Dauer eines Ausfalls auf ein Minimum zu begrenzen. Denn die Schmelzsicherungen können ohne großen Aufwand ausgetauscht werden. Die Transistoren müssten allerdings aufwendig ausgelötet und die neuen ebenso wieder eingelötet werden, sodass eine schnelle Wiederinbetriebnahme nicht möglich ist. Da ein höherer Strom nur durch eine Verpolung der KPE-Anschlüsse entstehen könnte, tritt dieser Fehler nur sehr selten auf, sodass keine Leitungsschutzschalter verwendet werden.

Weitergehend sind die Leitungen und Platinen nach den SPV-1500-24 Netzteilen mittels 30 A Kfz-Flachsicherungen gegen Überstrom abgesichert, wie sie ebenfalls in einem realen Kraftfahrzeug verbaut sind.

### 4.3. Spannungsversorgung der Bauelemente

Die Spannungsversorgung des Prüfstandes besteht aus vier verschiedenen Spannungsebenen, die über verschiedene Farben in Abbildung 6 kenntlich gemacht sind.

Der Anschluss an das 230-V-Netz erfolgt mit handelsüblichen Schutzkontakt (Schuko)-Steckern, sodass keine speziellen Anschlussvoraussetzungen an den Ort des Prüfstandes gegeben sein müssen. Angeschlossen werden so der Computer, der Klimaschrank, das NI-Messsystem und die Klemmleisten für die Netzteile. Die Temperatursensoren selbst werden nicht an das 230-V-Netz, sondern an das Messsystem angeschlossen. Um die Zugehörigkeit erkenntlich zu machen, wurden diese ebenfalls mit Rot markiert, da sie keine Spannungsversorgung benötigen. Häufig besitzen die 230-V-Geräte noch zusätzlich interne Netzteile, auf die allerdings nicht weiter eingegangen wird.

Die zweite Spannungsebene, welche die Steuergeräte und die Kraftstoffpumpen versorgt, wird von den zwei Netzteilen Meanwell SPV-1500-24 gestellt. Diese können eine variable Spannung von 0 V bis 28 V DC bereitstellen und dienen als Ersatz der Bordnetzspannung, die sonst vom Kraftfahrzeug gestellt wird. Ein Netzteil übernimmt dabei die Versorgung von jeweils zwei Kraftstoffpumpenelektroniken, welche parallel zueinander verschaltet sind. Über das Messsystem wird eine analoge Spannung (0 bis 6 V) an die Netzteile ausgegeben, womit deren Ausgangsspannung gesteuert wird. In dem Datenblatt der Netzteile ist keine genaue Beziehung zwischen der Steuerspannung und der Ausgangsspannung gegeben. Aus diesem Grund wurden Messreihen aufgenommen, um die Funktion  $V_{\text{Out}}$  ( $V_{\text{Control}}$ ) zu erhalten. Dabei ergab sich folgende Kennlinie:

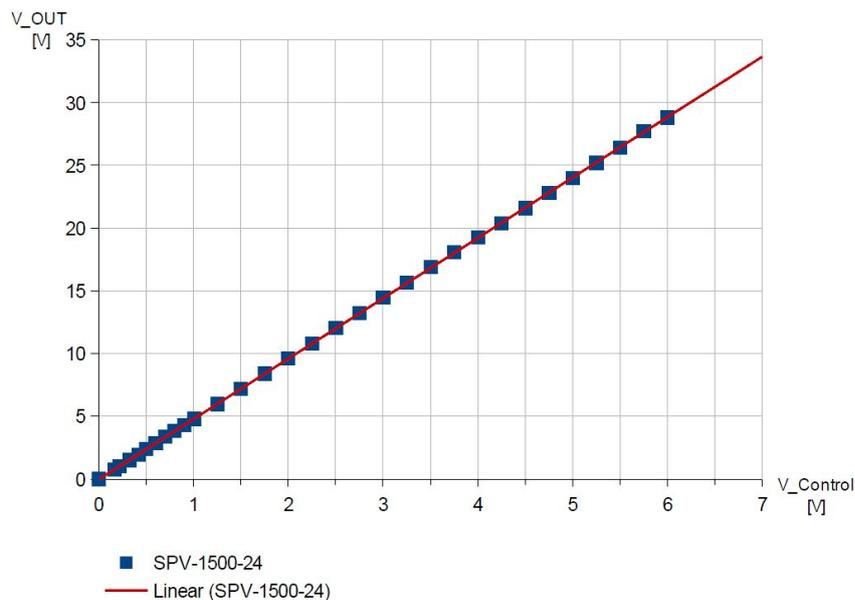


Abbildung 8: Kennlinie Meanwell SPV-1500-24

Ein Meanwell SPV-1500-24 kann einen Gleichstrom von bis zu 63 A führen, sodass ein Netzteil eine elektrische Leistung von ca. 1500 W hat. [8] Somit ist ein Netzteil problemlos in der Lage, zwei parallele Ströme von jeweils 30 A zu führen, welche in einem Fall von blockierenden Pumpen durchaus auftreten können.

Die Druckregler und Drucksensoren benötigen eine Spannungsversorgung von 24 V DC, welche durch das Netzteil Meanwell PS 25-24 zur Verfügung gestellt werden. Für die Kleinverbraucher ist der maximale Ausgangsstrom von 400 mA ausreichend, [9] denn ein Drucksensor hat eine Stromaufnahme von 9 mA, ein Druckregler von ca. 45 mA. [11] [12] Daraus ergibt sich für vier Drucksensoren und zwei Druckregler eine Stromaufnahme von 126 mA im Nennbetrieb. Die vierte Spannungsebene liegt bei  $\pm 15$  V DC, welche die LEM Stromwandler versorgt, mit denen die Eingangs- und Strangströme der Steuergeräte gemessen werden können. Dies ermöglicht das Netzteil Meanwell PD 2515. Es kann ebenso ein Ausgangsstrom von 400 mA für +15 V und für -15 V führen, welcher den insgesamt benötigten Bedarf von  $\pm 100$  mA für die 10 Stromwandler deckt. [10] Da es sich bei den Netzteilen PS 25-14 und PD 2515 Open-Frame Bauformen handelt, sind diese in einem Kunststoffgehäuse verbaut, um so vor Feuchtigkeit oder Schmutz geschützt zu sein.

Mithilfe der steuerbaren Netzteile können verschiedene Betriebszustände der Bordnetzspannung, wie Unter- oder Überspannung, simuliert, um so die Funktionsfähigkeit der Steuergeräte in diesen Bereichen zu testen.

#### 4.4. Ansteuerung und Strommessung der Steuergeräte

Für die Ansteuerung der Kraftstoffpumpenelektroniken und die Strommessung sind Elektronikschaltungen erforderlich, welche auf zwei Platinen realisiert sind. Die erste Platine deckt die Ansteuerung und die Messung der Eingangsströme der vier Steuergeräte ab, die zweite die Messung der Strangströme. Die Platinen sind mit der Software Eagle (Version 6.4.0) erstellt, im Labor der B&W Fahrzeugentwicklung GmbH geätzt und später mit den Bauteilen bestückt worden. Für die Ansteuerung einer KPE ist eine Massetaktung notwendig, die wie in Kapitel 3.2 beschrieben, mithilfe der Transistorschaltung (Abbildung 9) umgesetzt wird.

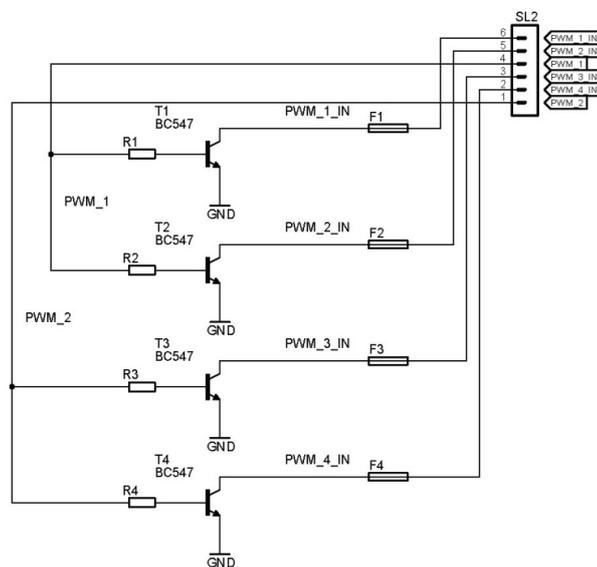


Abbildung 9: Schaltplan der Transistorschaltung

Verwendet werden NPN-Transistoren in Emitterschaltung, diese haben in der Anwendung die Funktion eines Schalters. An dem Kollektoreingang liegt eine ständige Spannung in Höhe der Bordnetzspannung an, der Emitteranschluss des Transistors ist mit der Masse verbunden. Somit ist bei Durchschalten der Transistoren eine Massetaktung gegeben.

Jedoch ist es in diesem Fall wichtig, dass das anliegende Soll-PWM Signal invertiert ist, da die Information über die Ansteuerung über das Tastverhältnis des entstehenden PWM Signals übertragen wird und die Emitterschaltung eine Phasenverschiebung von  $180^\circ$  zur Folge hat. Mithilfe der softwareseitigen Invertierung ist gewährleistet, dass ein Low-Pegel des Soll-PWM Signals auch ein Low-Pegel in der KPE-Ansteuerung bewirkt.

Über das NI-Messsystem werden zwei invertierte Soll-PWM Signale (PWM\_1 und PWM\_2) ausgegeben. Diese liegen an dem Basiseingang von Transistor 1 und 2 sowie 3 und 4, um deren Schaltverhalten zu steuern. Damit die Transistoren bei der Ansteuerung nicht zerstört werden, wird der Basisstrom mithilfe eines Basiswiderstands begrenzt.

Gegeben:  $I_{0\max} = 1 \text{ A}$

$$V_{\text{Sup}} = 15 \text{ V}$$

$$I_{\text{Bmax}} = 100 \text{ A}$$

$$I_{\text{CEmax}} = 200 \text{ A (durch die Schmelzsicherung)}$$

$$h_{\text{FE}} = 160 - 400$$

$$R_B = \frac{V_{\text{Sup}} - V_{\text{BE}}}{I_{\text{Bmax}}} = \frac{15 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{100 \text{ mA}} = \underline{143\Omega} \quad \text{Gleichung 2}$$

Um den Basisstrom möglichst gering zu halten, wird mit dem Hintergrund dieser Berechnung ein Basiswiderstand von  $10 \text{ k}\Omega$  verwendet, sodass nur ca.  $14,3 \text{ mA}$  und nicht die maximal zulässigen  $100 \text{ mA}$  fließen.

Die Strommessung wird mit sogenannten Stromwandlern der Firma LEM realisiert. Diese arbeiten nach dem Prinzip des Hall-Effekts und geben eine zum Strom proportionale Gleichspannung aus. Verwendet werden Sensoren vom Typ HY 15-P, welche einen Messbereich von  $\pm 45 \text{ A}$  abdecken, sodass auch hohe Ströme von  $30 \text{ A}$  zuverlässig gemessen werden können. Da in dem Datenblatt der Firma LEM keine Kennlinie  $V_{\text{OUT}}(I)$  gegeben ist, muss diese auch aus selbst gewonnenen Messergebnissen erstellt werden. Es ergab sich folgende Kennlinie:

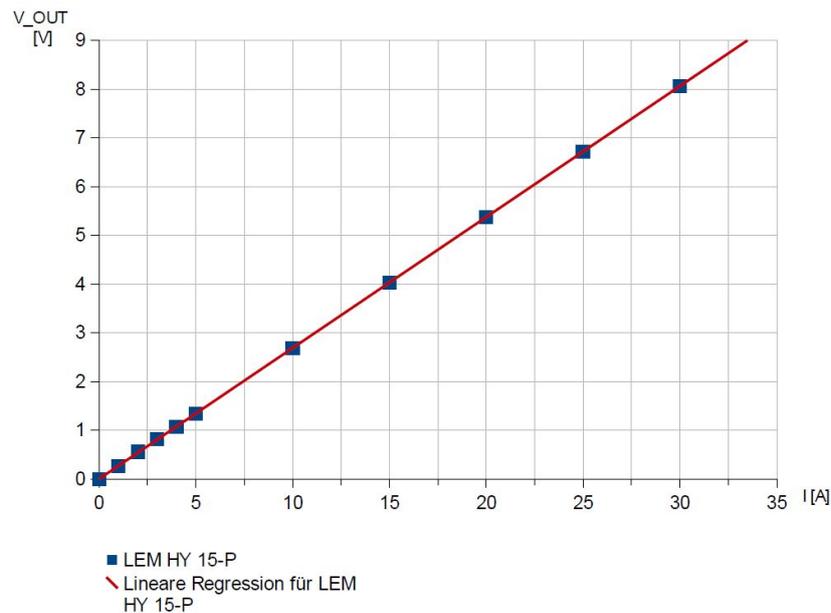


Abbildung 10: Kennlinie LEM HY 15-P

Hierfür wurden definierte Ströme durch ein LEM HY 15-P geleitet und die erzeugte Ausgangsspannung gemessen. Anschließend wurden die Messergebnisse in einem Diagramm dargestellt und eine Trendlinie (Lineare Regression) erzeugt. Der Trendlinie liegt eine Geradengleichung zugrunde, mit der die Ausgangsspannung auf die entsprechenden Stromwerte skaliert werden kann. In dem Kapitel 5.3.2 wird auf die Skalierung noch einmal näher eingegangen.

Auf den Platinen kommen folgende Bauteile zum Einsatz:

- WAGO Klemmleiste vom Typ 236
- Stiftleisten (3,6 und 7 reihig) mit Verpolschutz
- 10 k $\Omega$  Widerstände
- LEM HY 15-P Stromwandler
- Transistor BC 337-25
- Halterung für Schmelzsicherung (20 x 5mm)

Durch die Stiftleisten und WAGO-Klemmleisten ist eine gewisse Modularität gegeben, die einen schnellen Ein- und Ausbau der Platinen ermöglicht.

Die Abbildung 11 zeigt die fertig bestückten Platinen, mit den aufgezählten Bauteilen. Der vollständige Schaltplan der Platinen befindet sich im Anhang B sowie die Belichtungsmasken im Anhang C.

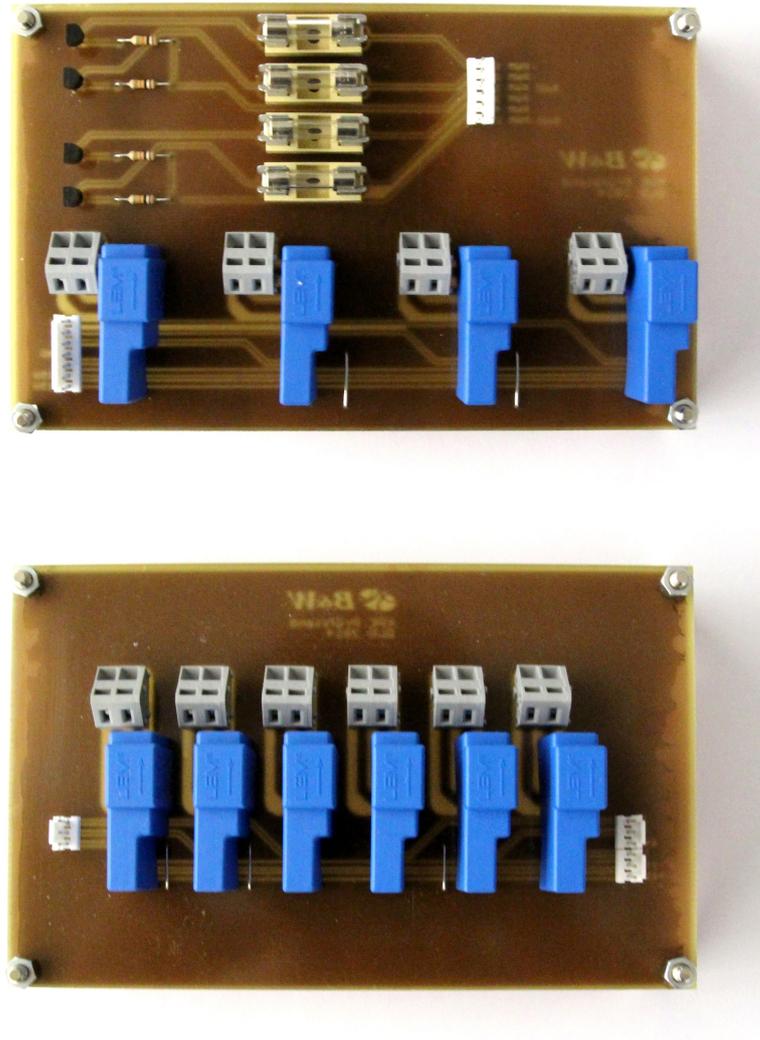


Abbildung 11: Oberseite der Platinen

#### 4.5. Aufnahme der Messgrößen und Ausgabe der Sollgrößen

Ein Messsystem von der Firma National Instruments ist in dem Prüfstand für die Signalaufnahme sowie Signalausgabe verantwortlich und übernimmt dabei auch die A/D-Wandlung sowie die Signalkonditionierung. Benutzt wird das modulare System NI Compact DAQ, welches aus einem Chassis und mehreren Modulen besteht. Das Chassis ist die Schnittstelle zwischen dem externen PC, auf dem sich die Bedienoberfläche befindet und den I/O Modulen. Es ist für das Timing, die Synchronisation und die Datenübertragung zuständig.

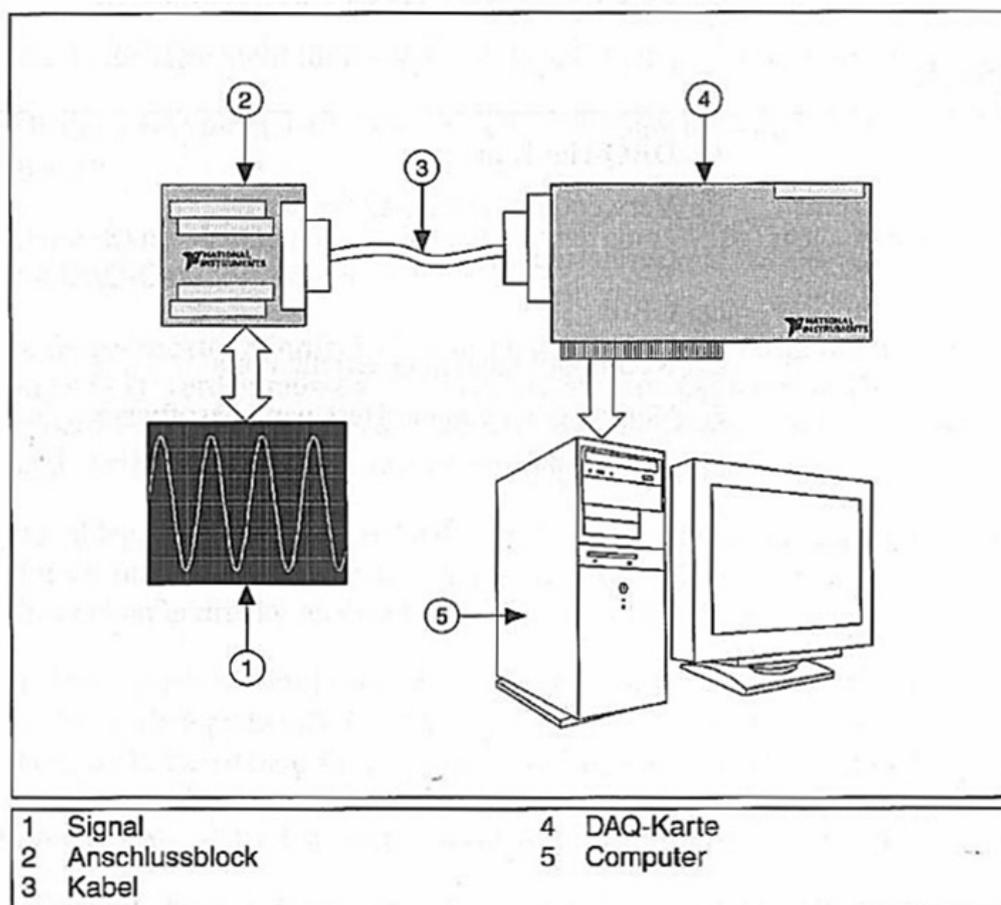


Abbildung 12: Typisches NI-Messsystem

In der Abbildung ist eine DAQ-Karte abgebildet anstatt eines Chassis mit Steckplätzen für mehrere Module. Der Signalverlauf ist für beide Möglichkeiten jedoch derselbe.

Verbaut ist ein USB-Chassis vom Typ cDAQ-9172 mit 8 Slots für Module, das für die Kommunikation mit dem Computer eine USB 2.0 Verbindung nutzt. Die Module werden in die Slots des Chassis eingesetzt und können dank der „Plug and Play“-Funktion direkt verwendet werden. Das NI cDAQ-9172 verfügt weitergehend über zwei interne 32 bit Timer, welche die Pulsmessung und Pulserzeugung ermöglichen. Folgende I/O Module kommen in dem Prüfstand zum Einsatz:

Slot	Typ	Funktion	Kanäle	Verwendung
1	NI 9205	AI $\pm 10$ V	16	Ströme & Systemdrücke
2	NI 9221	AI $\pm 60$ V	8	Ansteuerungs-PWM & Bordnetzspannungen
3	NI 9211	TC $\pm 80$ mV	4	KPE Temperaturen
4	NI 9211	TC $\pm 80$ mV	4	Umgebungstemperaturen
5	NI 9474	DO 24 V High Speed	8	Soll-PWM Signale
6	NI 9263	AO 10 V	4	Ansteuerung Druckregler & Netzteile SPV-1500-24

Tabelle 3: Verwendete I/O Module

An diese Module sind die entsprechenden Spannungen bzw. Sensoren angeschlossen. Die Systemdrücke werden mit Drucksensoren der Firma tectis von der Baureihe P3301 erfasst, die über einen normierten Spannungsausgang verfügen. Sie können Drücke bis zu 10 bar messen und geben dafür eine analoge Spannung bis 10 V aus. Für die Temperatursensoren wird der Seebeck-Effekt genutzt. Hierfür wird eine Kombination (Thermopaar) von Nickel und Chrom-Nickel verwendet, sogenannte Typ-K Sensoren. Es werden Thermoelemente benutzt, da diese einfach an die Steuergeräte zu applizieren sind. Weitergehend sind die Kraftstoffpumpenelektroniken unter Umständen bereits mit intern verbauten Thermopaaren ausgestattet, sodass eine Schnittstelle gegeben ist und auch diese für Messungen verwendet werden können. Für Untersuchungen werden sehr häufig Thermoelemente in Kraftfahrzeugen verwendet. Sie sind daher bei VW stets verfügbar und kostengünstig. Beachtet werden muss dabei allerdings, dass die Leitungen bis zum Messsystem aus der verwendeten Materialkombination bestehen, um eine erneute Thermospannung zwischen z.B. Kupfer und Nickel zu vermeiden. Die benötigte Referenz-



#### 4.6. Temperierung der Steuergeräte

Der speziell für den Laboreinsatz entwickelte WEISS WKL 100/70 Klimaschrank ermöglicht die Prüfung der Funktionsfähigkeit der KPE bei verschiedenen Temperaturen. Somit kann der laut Lastenheft geforderte Funktionsbereich bei Temperaturen von  $-40\text{ °C}$  bis  $80\text{ °C}$  getestet werden. [6] Dabei muss allerdings bei der Erstellung der Sollkurven auf die Temperaturänderungsgeschwindigkeit geachtet werden, sodass die geforderten Temperaturen auch von dem Klimaschrank erreicht werden können. Die Änderungsgeschwindigkeit beträgt für den Abkühlvorgang sowie für das Heizen  $3,5\text{ K/min}$ . Somit ergeben sich die maximalen Zeiten von  $35\text{ min}$  für das Abkühlen und für das Aufheizen, bei einer Temperaturänderung um  $120\text{ K}$ . Zusätzlich ist der Klimaschrank in der Lage, die relative Feuchtigkeit zu verändern. Jedoch ist diese Funktion für die Prüfungen mit diesem Prüfstand nicht erforderlich, da es für diese Untersuchungen spezielle Prüfstände gibt. Der Prüfrauminhalt von  $100\text{ l}$  Volumen bietet ausreichend Platz für vier Behälter, welche den Bauraum im Kfz, in dem sich die Kraftstoffpumpenelektroniken befinden, imitieren. Dies hat den Zweck, dass die Umgebungstemperaturen nicht zusätzlich durch den Luftstrom der Ventilatoren beeinflusst werden. Die Kommunikation mit dem PC, auf dem die Bedienoberfläche ausgeführt wird, erfolgt über eine Ethernet Schnittstelle. Auf die Ansteuerung des Klimaschranks wird in Kapitel 5.3.5 eingegangen.



Abbildung 15: Klimaschrank

#### 4.7. Einstellmöglichkeiten der Last für die Kraftstoffpumpenelektroniken

Kraftstoffpumpen dienen in dem Prüfstand als Last für die Steuergeräte, wie sie ebenfalls in dem realen Kfz-Aufbau verwendet werden. Wie hoch der benötigte elektrische Strom der Pumpen ist, hängt dabei von der Fördermenge und dem Druck im System ab. Der Volumenstrom wird über die Drehzahl des Motors gesteuert, der Druck im System des Prüfstandes über ein Regelventil. Das Regelventil hingegen wird, wie schon in Kapitel 2.1 beschrieben, über Druckluft mithilfe eines Druckreglers vom Typ UNIVER P31PA 12E5 2VP1A gesteuert. Die Belastung der Steuergeräte kann somit über das Tastverhältnis des PWM-Signals als auch über den Druckregler eingestellt werden.

Der verwendete pneumatische Druckregler hat einen Regelbereich von 0 bis 7 bar und ist somit an den maximalen Druck des Luftkompressors angepasst. Die Ansteuerung erfolgt über eine analoge Spannung von 0 bis 10 V, welche über das NI-Messsystem anliegt. Zwischen dem Druck und der Spannung herrscht dabei ein linearer Zusammenhang, sodass 1 V gleich 1 bar entsprechen. Der Druckregler verfügt zudem über die Funktion der Zwangsentlüftung, welche bei einem Ausfall der 24 V Spannungsversorgung eintritt. Dadurch wird der Druck im System automatisch auf den atmosphärischen Druck gesenkt. Der Anschluss des Druckreglers erfolgt über eine 4 polige M12 Buchse. Außerdem verfügt die Baureihe P31PA über eine LED Anzeige, auf der stetig der aktuell anliegende Ausgangsdruck abgelesen werden kann, wie in Abbildung 16 zu sehen ist. [12]



Abbildung 16: Druckminderer

#### 4.8. Anordnung und Aufbau der Hardware

Die verwendete Hardware ist, bis auf den Klimaschrank, in einem 19 Zoll Rack verbaut. Dadurch ist ein stetiger Schutz der Technik gegen äußere Einflüsse gewährleistet. Außerdem ist der Bediener gegen direktes Berühren geschützt, indem Bauteile, die betriebsmäßig unter Spannung stehen, mithilfe von Blenden oder Gehäusen gekapselt sind. Da die meisten Bauteile und Blenden metallischer Art sind, ist der Schutzleiter (PE) an das Gehäuse des Schrankes und somit an alle Bauelemente angeschlossen. In Kombination mit dem FI-Schutzschalter der Unterverteilung kann so ein Fehlerstrom durch indirektes Berühren abgeschaltet werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass durch eine „kompakte“ Bauart ein Standortwechsel unproblematisch ist und die Funktionalität des Prüfstandes stets gegeben bleibt.

Das 19 Zoll Rack ist in zwei Bereiche aufgeteilt. In dem oberen Teil befinden sich alle elektrischen Bauteile des Prüfstandes. Der untere Teil beherbergt das Drucksystem, in dem sich das Ersatzmedium befindet. Getrennt sind die beiden Bereiche durch eine Plexiglas-Trennwand. Dadurch ist der Schutz der elektrischen Bauteile vor einem plötzlichen Austreten des Ersatzmediums gewährleistet. Die Anordnung der Bauteile ist in der Abbildung 17 zu erkennen. Wichtig dabei war die Zugänglichkeit und Sichtbarkeit der sicherheitsrelevanten Bauteile, insbesondere des Notausschalters.

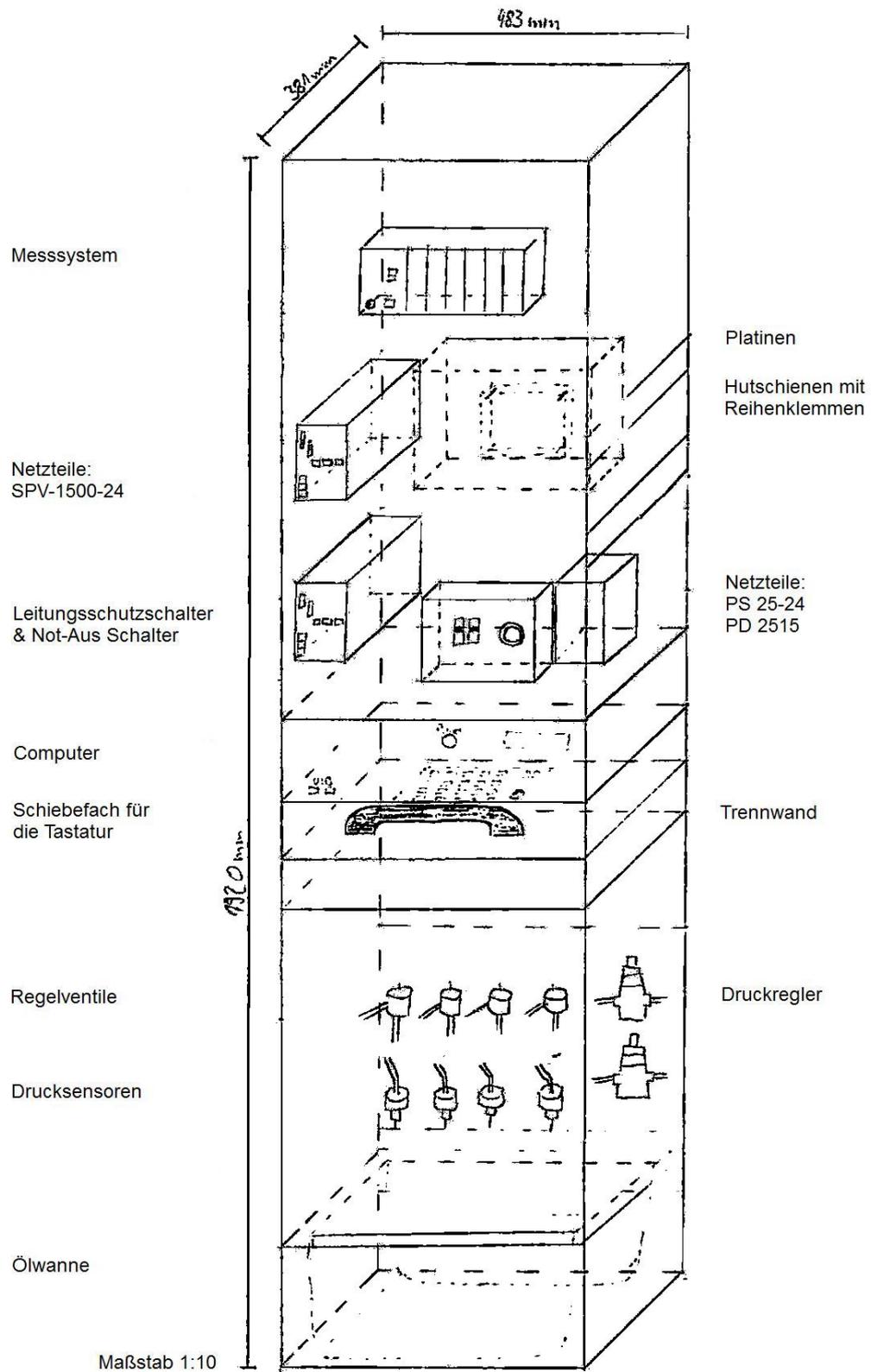


Abbildung 17: Anordnung der Hardware

In der Abbildung nicht eingezeichnet sind der Bildschirm und die Anschlüsse für die Steuergeräte, Pumpen, Thermoelemente und Klimaschrank. Der Bildschirm befindet sich über dem Gehäuse, welches den Not-Aus-Schalter und die beiden Leitungsschutzschalter beinhaltet. Die gesamten Anschlüsse befinden sich auf der Rückseite des Racks unterhalb des Platinengehäuses. Bei der Anordnung und der Verkabelung wurde darauf geachtet, die Leitungslängen möglichst gering zu halten, um keine unnötig hohen Spannungsverluste zu verursachen. Für die Anschlüsse der Kraftstoffpumpenelektroniken und Kraftstoffpumpen wurde ein Leiterquerschnitt von  $2,5\text{mm}^2$  verwendet, wie es im Kfz ebenso üblich ist. Die restlichen Querschnitte der Leitungen sind in dem Schaltplan vermerkt, siehe dafür Anhang B.

Alle Anschlüsse auf der Rückseite des Prüfstandes sind beschriftet und strukturiert aufgebaut, wie in der Abbildung 18 zu erkennen. Die beiden steuerbaren Netzteile SPV-1500-24 verfügen über eine „Sensing“-Funktion, das heißt sie sind in der Lage, die Spannung an gewünschten Punkten zu messen und gegen Spannungsabfälle oder –einbrüche zu regeln. Hierfür sind die Anschlüsse mit den Bezeichnungen S+ sowie S- zuständig. Mithilfe der Anschlüsse ist es möglich, das „Sensing“ bis direkt zu den Steuergeräten zu legen oder es mithilfe von Kurzschlusssteckern mit der Klemme 87 & 381 zu verbinden. Verwendet werden Kurzschlussstecker, um so wählen zu können, auf welchen KPE-Anschluss das „Sensing“ liegt. Die Abstände der Buchsen sind so gewählt, dass die Kurzschlussstecker nur in den Kombinationen S+ und Kl. 87 beziehungsweise S- und Kl.31 zu stecken sind. Somit ist es dem Bediener des Prüfstandes nicht möglich mittels der verwendeten Kurzschlussstecker einen wirklichen Kurzschluss zu verursachen. Deutlich wird dies in der Abbildung 18.

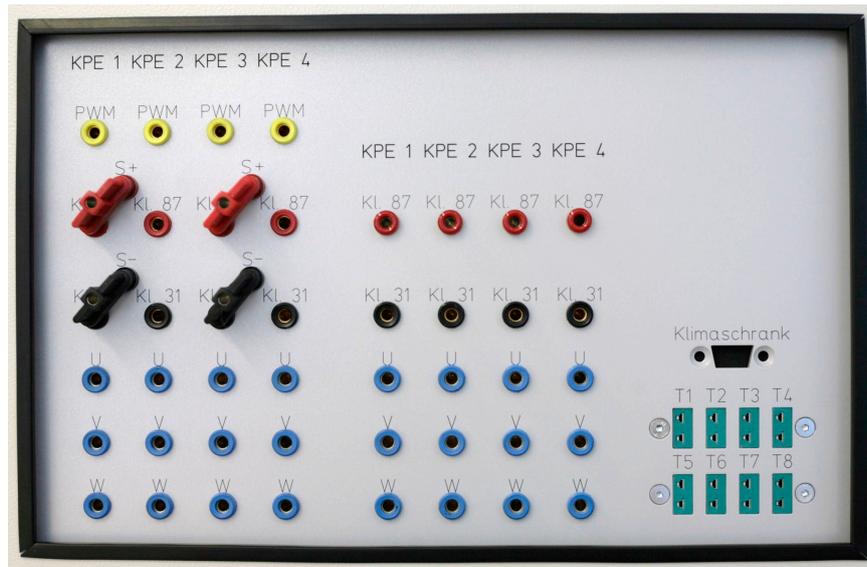


Abbildung 18: Anschlüsse des Prüfstandes

Die Anschlüsse der Thermoelemente sind nur allgemein mit den Bezeichnungen T1 bis T8 beschriftet, um die Möglichkeit einer individuellen Verwendung beizubehalten. In den für die Bachelorarbeit angefertigten Programmen (4x Dauerlauf und Dauerlauf & Handbetrieb) sind die Anschlüsse wie folgt verwendet:

Anschluss	Belegung Messsystem	Verwendung
T1	Slot 3: Pin 0, Pin 1	Temperatur KPE 1
T2	Slot 3: Pin 2, Pin 3	Temperatur KPE 2
T3	Slot 3: Pin 4, Pin 5	Temperatur KPE 3
T4	Slot 3: Pin 6, Pin 7	Temperatur KPE 4
T5	Slot 4: Pin 0, Pin 1	Umgebungstemperatur KPE 1
T6	Slot 4: Pin 2, Pin 3	Umgebungstemperatur KPE 2
T7	Slot 4: Pin 4, Pin 5	Umgebungstemperatur KPE 3
T8	Slot 4: Pin 6, Pin 7	Umgebungstemperatur KPE 4

Tabelle 4: Anschlüsse Temperaturmessung

## 5. Softwareseitige Veränderungen

### 5.1. Einführendes zu der Programmierung

Die Software für den Prüfstand erfasst alle Messgrößen (Bordnetzspannung, PWM-Signale, Eingangs- und Strangströme, Drücke und Temperaturen), verarbeitet diese und gibt die geforderten Sollgrößen in Form von analogen oder digitalen Signalen (PWM, Sendstring) aus. Realisiert sind diese Funktionen mit der grafischen Programmiersoftware LabView (Version 11.0.1), welche kompatibel zu dem NI-Messsystem ist, sodass keine zusätzlichen Treiber oder ähnliches installiert werden müssen.

Die Programmierung ist so weit wie möglich modular aufgebaut, um Funktionen erneut benutzen zu können sowie die Möglichkeit einer unproblematischen Erweiterung zu schaffen. Der prinzipielle Aufbau eines Programmes ist in der folgenden Abbildung 19 dargestellt.

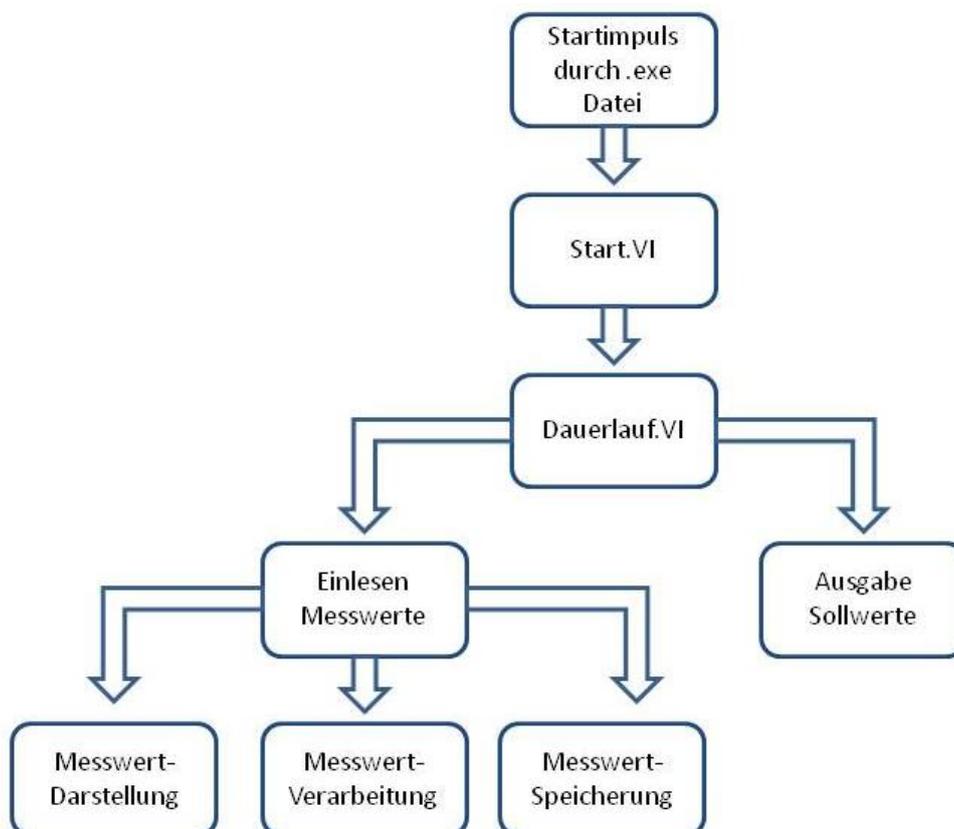


Abbildung 19: Grundfunktionen der Programme

Die Programmierung wird in dem Dateiformat .EXE gespeichert. Wird diese ausgeführt, so öffnet sich ein Startmenü, in dem Informationen über die Prüfung und die Prüflinge eingegeben werden können und notwendige Parameter, wie die Frequenz der Ansteuerung oder die Dauer der Prüfung, eingetragen werden müssen. Sind die notwendigen Parameter eingetragen, kann die Prüfung gestartet werden und es öffnet sich die Bedienoberfläche der Prüfung. Hier können je nach Programm die aktuellen Messwerte abgelesen oder auch Sollwerte eingestellt werden. Auf die genaue Funktionalität der Programme wird im nächsten Kapitel eingegangen.

## **5.2. Umsetzung der Programmabläufe Automatikbetrieb und Handbetrieb**

Wie in dem Sollzustand des Prüfstandes (Kapitel 2.2) gefordert, sind zwei Programme für den Versuchsstand realisiert worden. Die Software des Prüfstandes wurde dafür von Grund auf neu erstellt.

Das Programm „4x Dauerlauf“ sieht einen reinen Automatikbetrieb des Versuchsstandes vor. Mit dem Programm werden voll automatisierte Dauerlaufprüfungen für bis zu vier Steuergeräte umgesetzt. Dabei werden die vier angeschlossenen KPE in zwei Systeme aufgeteilt, System 1 besteht aus KPE 1 & 2, System 2 aus KPE 3 & 4. Diese Aufteilung ist bereits in der Hardware des Prüfstandes und deren Anschluss begründet, siehe Kapitel 4.3 und 4.4. Die grundlegenden Funktionen, welche für jedes System ausgeführt werden, sind in der Abbildung 20 dargestellt.

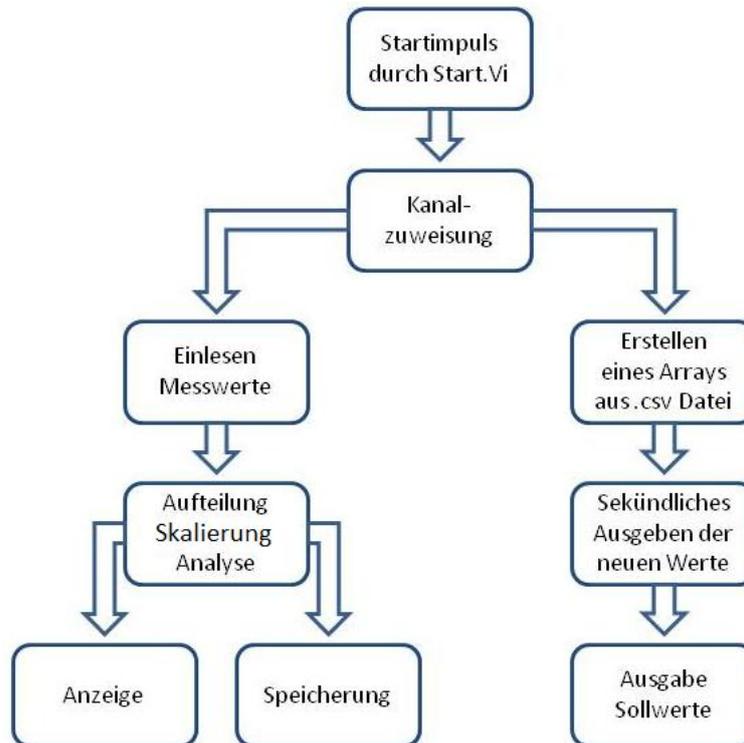


Abbildung 20: Funktionen des Programms „4x Dauerlauf“

Mit Hilfe der Trennung in zwei Systeme ist es möglich, Steuergeräte von zwei verschiedenen Typen zu testen oder parallel verschiedene Dauerlaufprüfungen auszuführen. Dafür müssen in der Startoberfläche für jedes System die zugehörigen Parameter eingegeben werden, siehe Abbildung 21.



Abbildung 21: Bedienoberfläche - Start

In der Startoberfläche können in dem ersten Reiter Informationen über die Prüfung und die verwendeten Kraftstoffpumpenelektroniken eingetragen werden. Diese Informationen werden danach in der Bedienoberfläche angezeigt und mit den Messdaten zusammen abgespeichert. Die Eingabe ist allerdings optional. In dem zweiten Reiter „Sollkurven“ müssen die Pfade der Dateien für jedes System einzeln ausgewählt werden. Werden keine Dateien ausgewählt, wird beim Starten der Prüfung der Bediener nochmals aufgefordert dies zu tun. In dem letzten Reiter der Startoberfläche müssen weitere notwendige Parameter für die Prüfungen eingeben werden. Als erstes wird die Dauer der Prüfungen eingetragen. Diese Angabe ist für beide Systeme maßgeblich, da nach Ablauf dieser Zeit das Programm beendet wird und die Messdaten abgespeichert werden. Anschließend kann eine Anzahl angegeben werden, wie oft die Sollwertdateien eingelesen werden sol-

len. Das wiederholte Einlesen einer Datei ermöglicht, dass ein Prüfablauf während einer Prüfung mehrmals hintereinander ausgeführt wird, ohne dass dabei für jede Anzahl eine entsprechende Datei vorhanden sein muss. Dies erleichtert die Bedienung enorm, da nur einmal eine Datei mit dem entsprechenden Prüfablauf angelegt werden braucht. Beachtet werden muss dabei die sich aus den Prüfabläufen resultierende Prüfdauer, denn diese muss mit der zuvor angegebenen „Dauer der Prüfung“ übereinstimmen. Ist dies nicht der Fall, werden nach Ablauf der eingelesenen Sollkurven alle Sollwerte auf null gesetzt, bis die Prüfung beendet wird.

Die Sollwertdateien müssen in einer festgelegten Form angelegt werden, damit das Programm die Werte korrekt einlesen kann. Wichtig ist, dass pro Sekunde ein Wert abgelegt ist, da das Programm die Werte ebenso sekundlich ausließt. Weitergehend ist die Einhaltung der Reihenfolge der Spaltenbelegung zwingend erforderlich, ein Beispiel dazu ist in der Abbildung 22 zu erkennen.

	Zeit [s]	Tastverhältnis Soll-PWM-Signal	Systemdruck [bar]	Bordnetzspannung [V]	Solltemperatur [°C]				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	1		0,2		1,00		15,00		20,00
2	2		0,2		1,00		15,00		20,00
3	3		0,2		2,00		15,00		20,00
4	4		0,2		2,00		15,00		20,00
5	5		0,2		2,00		15,00		20,00
6	6		0,65		2,00		20,00		20,00
7	7		0,65		2,00		20,00		20,00
8	8		0,65		2,00		20,00		20,00
9	9		0,65		5,00		20,00		20,00
10	10		0,65		5,00		20,00		20,00
11	11		0,65		5,00		20,00		-20,00
12	12		0,65		5,00		12,00		-20,00
13	13		0,65		7,00		12,00		-20,00
14	14		0,65		7,00		12,00		-20,00
15	15		0,65		7,00		12,00		-20,00
16	16		0,99999		7,00		12,00		-20,00
17	17		0,99999		7,00		12,00		-20,00
18	18		0,99999		3,00		12,00		-20,00
19	19		0,99999		3,00		12,00		-20,00
20	20		0,99999		3,00		12,00		-20,00
21	...		...		...		...		...

Abbildung 22: Beispiel Sollkurven in Excel

Die Vorgabe der Temperatur, welche in dem Klimaschrank herrschen soll, wird aus der Datei von dem System 1 (KPE 1 & 2) entnommen. Parallele Dauerlaufprüfungen mit unterschiedlichen Temperaturverläufen für System 1 und 2 sind nicht möglich, da lediglich ein Klimaschrank vorhanden ist. Die eingetragenen Sollwerte können in folgenden Wertebereichen liegen:

Sollwert	Wertebereich	
	Minimal	Maximal
Tastverhältnis Soll-PWM-Signal	0,0	0,9999975
Systemdruck	0,0 bar	7,0 bar
Bordnetzspannung	0,0 V	28,0 V
Temperatur	-40,0 °C	80,0 °C

Tabelle 5: Wertebereich Sollwerte

Werte außerhalb dieser Bereiche sind nicht zulässig und werden entsprechend der Grenzwerte von der Software angepasst. Die Sollwertdateien sind in dem Dateiformat .CSV zu speichern.

Im Anschluss sind die Frequenzen in der Startoberfläche anzugeben, mit denen die Kraftstoffpumpenelektroniken angesteuert werden. Wie in Kapitel 3.2. beschrieben, sind für die bei VW verwendeten KPE, 20 Hz und 100 Hz üblich. Die Fehlercharakteristik der angeschlossenen Steuergeräte muss ebenso in der Startoberfläche ausgewählt werden. Möglich sind dabei die Charakteristiken F1 bis F5. Eine Zuordnung zwischen Fehlercharakteristik und Modell der Steuergeräte ist in der beigelegten Tabelle „Fehlercharakteristik KPE-Prüfstand“ zu finden. Sind alle notwendigen Informationen und Parameter eingetragen, kann die Prüfung über den Button „Beginn der Prüfung“ gestartet werden. Damit schließt sich die Startoberfläche und die Bedienoberfläche wird aktiv.



Abbildung 23: Bedienoberfläche „4x Dauerlauf“

Die Bedienoberfläche des Programms „4x Dauerlauf“ beinhaltet die Anzeige der aufgenommenen Messwerte, der ermittelten Tastverhältnisse sowie der aufgetretenen Fehler. Bei den Fehlern ist zu erwähnen, dass je nach eingestellter Fehlercharakteristik nicht immer alle acht Fehlerlampen aktiv, sie im ausgeschalteten Zustand aber ebenso zu sehen sind. Mit dem Button „Reset Fehler“ kann die Anzeige der Fehler zurückgesetzt werden. Somit ist eine Aussage möglich, ob Fehler nur einmalig oder häufig aufgetreten sind. Weiterhin ist es möglich, den Test abubrechen, wodurch die Ansteuerung der Steuergeräte und damit der Betrieb der Pumpen unterbrochen wird. Ist die Dauer der Prüfung abgelaufen oder wurde die Prüfung abgebrochen, werden die Messdaten in .TDMS Dateien gespeichert. Da es sich um zwei separate Prüfungen handeln kann, werden die Daten der zwei Systeme getrennt in zwei Dateien und Ordnern (Messwerte\_Dauerlauf 1 und Messwerte\_Dauerlauf 2) gespeichert.

Das zweite Programm „Dauerlauf & Handbetrieb“ beinhaltet für die Steuergeräte 1 & 2 wie in dem vorher erwähnten Programm „4x Dauerlauf“ einen Automatikbetrieb. In der Bedienung unterscheiden sich die beiden Programme für dieses erste System nicht. Die optionalen Informationen und notwendigen Parameter für eine Dauerlaufprüfung müssen ebenso in der, sich zu Beginn öffnenden Startoberfläche eingegeben werden. Lediglich der Umfang der Eingaben ist geringer, da diese nur noch für das System 1 notwendig sind. Nach dem Start der Dauerlaufprüfung werden die aufgenommenen Messwerte wiederum in einer .TDMS Datei gespeichert.

Der Unterschied zwischen den beiden Programmen liegt in der Bedienung des zweiten Systems, welches die Kraftstoffpumpenelektroniken 3 & 4 umfasst. Für diese Steuergeräte ist ein Handbetrieb vorgesehen. Unter einem Handbetrieb versteht man in diesem Fall die Parametereingabe und manuelle Steuerung der Sollwerte des Prüfstandes. In der Abbildung 24 ist die Bedienoberfläche des Programms mit der Schaltfläche für die manuelle Steuerung zu erkennen.

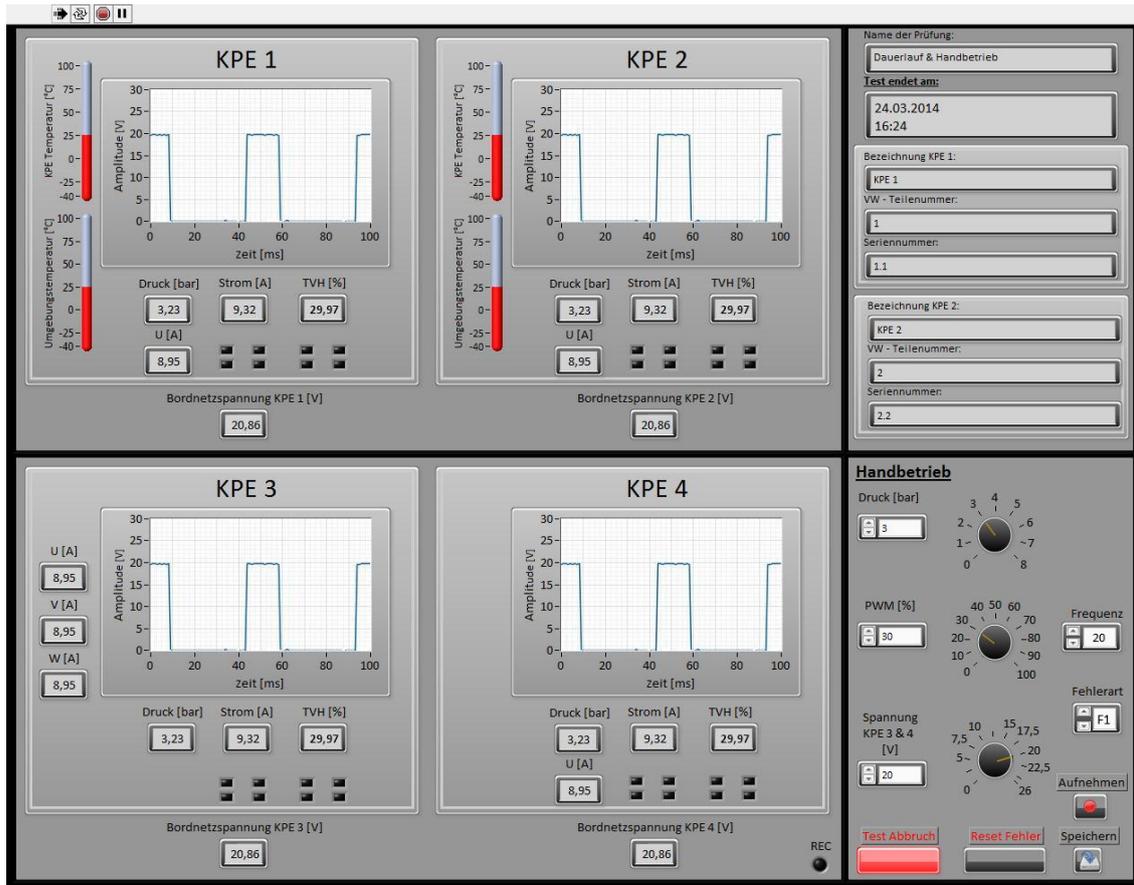


Abbildung 24: Bedienoberfläche "Dauerlauf & Handbetrieb"

Über Drehregler oder den zugehörigen digitalen „Anzeigen“ können die Sollwertvorgaben für das Soll-PWM-Signal, die Bordnetzspannung und den Druck eingestellt werden. Gleichmaßen können die Frequenz des pulswertenmodulierten Signals festgelegt und die Fehlercharakteristik ausgewählt werden. Wie in dem Automatikbetrieb ist es in dem Handbetrieb möglich, Messwerte aufzuzeichnen und für spätere Auswertungen abzuspeichern. Hierfür sind die zwei Buttons „Aufnehmen“ und „Speichern“ in der Schaltfläche zuständig. Wird der Schalter „Aufnehmen“ betätigt, so wird in dem Ordner „Messwerte\_Handbetrieb“ eine neue Datei angelegt und die Messwerte aufgezeichnet. Der Name der Datei wird wie folgt festgelegt: Tag-Monat-Jahr\_Uhrzeit\_KPE-HB.tdms

Eine aktive Messwert-Aufnahme kann anhand der Status-LED „REC“ registriert werden, wenn diese rot aufleuchtet. Ist keine Aufzeichnung von Messwerten aktiv, so bleibt die LED schwarz. Ist eine Prüfung über den Handbetrieb abgeschlossen, so kann über den Schalter „Speichern“ die Datei geschlossen und somit die Messwerte abgespeichert wer-

den. Nach einer Speicherung ist es durch die wiederholte Aktivierung des Buttons „Aufnehmen“ möglich, eine neue Datei für eine nächste manuelle Prüfung anzulegen. In der Abbildung 25 sind die prinzipiellen Schritte des Programms und der Zustandsgraph für die Messwert-Aufnahme und -Speicherung im Handbetrieb nochmals dargelegt.

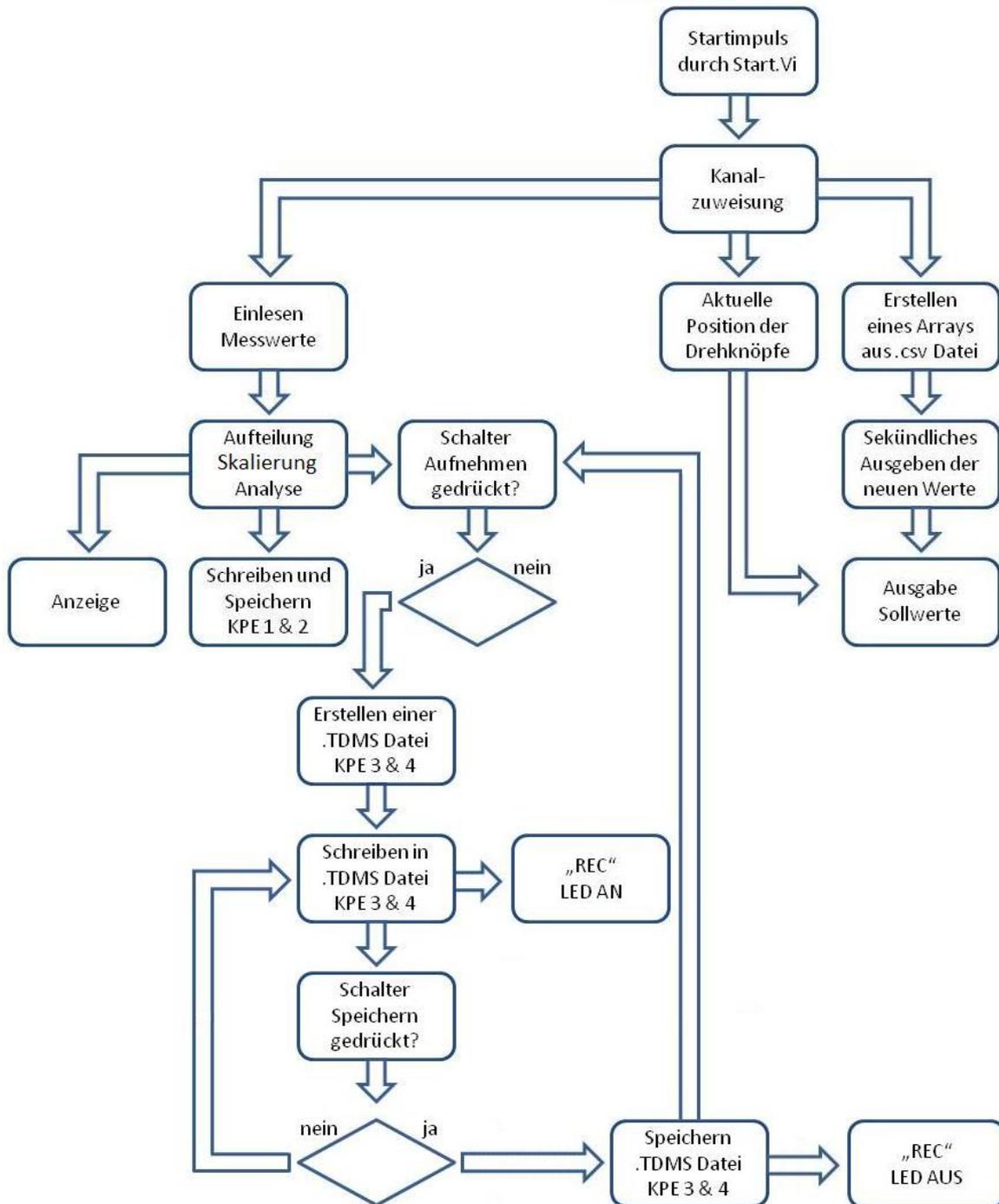


Abbildung 25: Funktionen des Programms „Dauerlauf & Handbetrieb“

Im Gegensatz zu dem Automatikbetrieb ist eine manuelle Prüfung unter speziellen klimatischen Bedingungen mithilfe des Klimaschranks nicht vorgesehen. Die Messung dieser Temperaturen ist in der Programmierung mit implementiert, jedoch nicht an Anzeigen oder an einer Messwert-Aufzeichnung verbunden. Somit ist es ohne großen Aufwand möglich, die bisher auf vier Temperaturen limitierte Messung für das System 1 auf bis zu acht Temperaturen zu erweitern. Dafür werden in dem Handbetrieb für die dritte KPE bis zu drei Strangströme (U, V, W) gemessen, sofern eine EC-Kraftstoffpumpe mit einem EC-Steuergerät angeschlossen ist.

In dem folgenden Kapitel 5.3 wird vertiefend auf die einzelnen Unterfunktionen der beiden Programme eingegangen.

### 5.3. Unterfunktionen der Programme

#### 5.3.1. Wiederholtes Einlesen einer .CSV-Datei

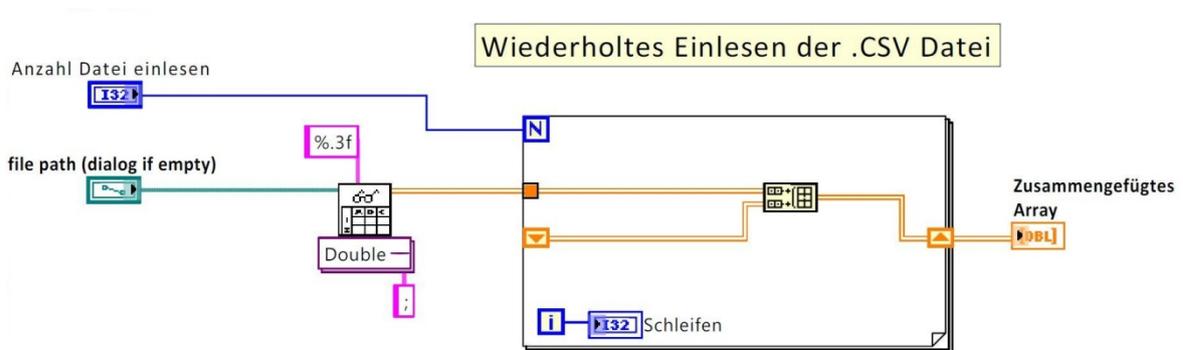


Abbildung 26: Wiederholtes Einlesen

Die Sollwerte einer Datei werden in Form eines 2D-Arrays eingelesen und durchlaufen danach eine FOR-Schleife. In der Schleife werden je Durchlauf das eingelesene Array mit dem vorherigen Array (falls vorhanden) zusammengefügt. Ist die Anzahl der Schleifendurchläufe gleich der angegebenen Anzahl an Wiederholungen, so wird die Routine beendet und das zusammengefügte 2D-Array ausgegeben.

### 5.3.2. Sortierung und Skalierung der Signale

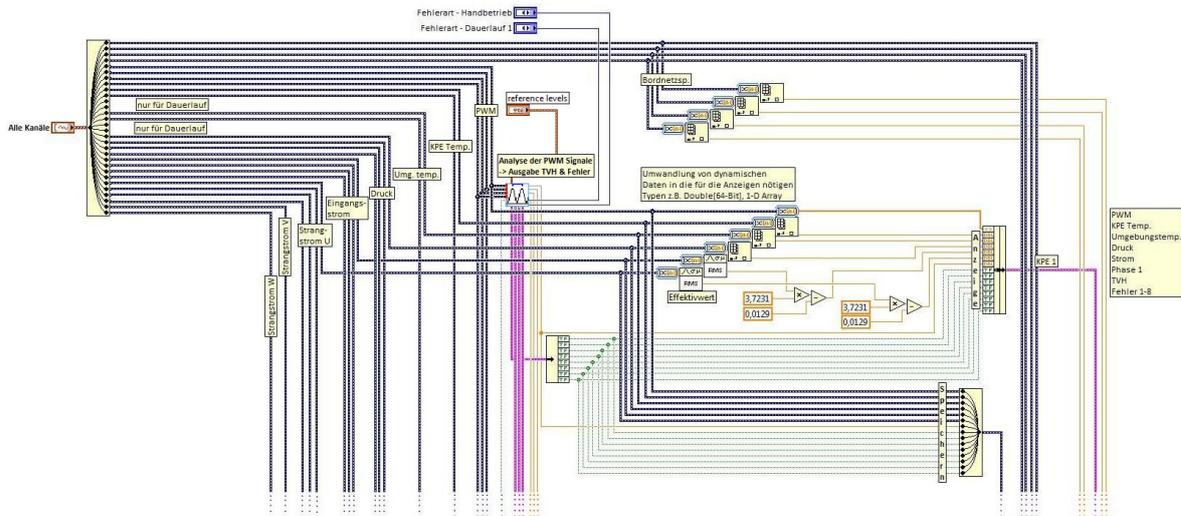


Abbildung 27: Sortierung und Skalierung der Signale

Die Signale werden von der Messung gebündelt ausgegeben und müssen anschließend sortiert und zu den Anzeigen der verschiedenen KPE zugeordnet werden. In der Abbildung 27 ist die Sortierung der Signale für die erste Kraftstoffpumpelektronik beispielhaft dargestellt. Verwendet werden die Signale zum einen für die Anzeige und zum anderen für die Speicherung. Weitergehend ist die Verarbeitung der Signale der LEM Stromwandler zu erkennen. Aus der Output-Spannung eines LEM-Moduls wird zuerst der Effektivwert mit einer dafür vorgefertigten Funktion gebildet. Danach wird mithilfe der Geradengleichung aus der linearen Regression die Spannung auf die entsprechenden Stromwerte skaliert. Aus den Messungen ergab sich folgende Gleichung:

$$I = V_{OUT} \cdot 3,7231 - 0,0129 [A]$$

Gleichung 3

## 5.3.3. Analyse der PWM-Signale

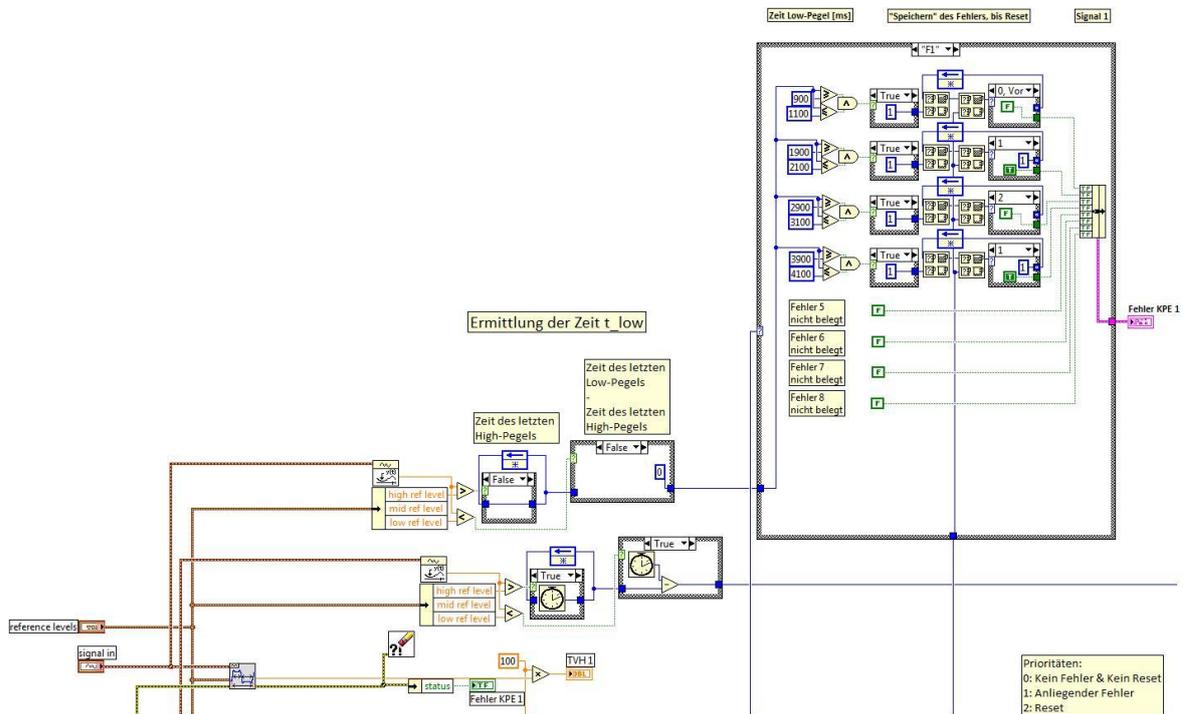


Abbildung 28: LabView-Funktion „Analyse der PWM-Signale“

Mit dem SubVI „Analyse“ werden die gemessenen PWM-Signale, welche für die Ansteuerung der Kraftstoffpumpenelektroniken zuständig sind, untersucht. Die Analyse beinhaltet die Ermittlung der Tastverhältnisse der Signale sowie die Erkennung von signalisierten Fehlern.

Für beide Untersuchungen ist es notwendig Referenzpegel anzugeben, damit der High- und der Low-Pegel zuverlässig erkannt werden können. Zur Bestimmung der Pegel wird die „Histogramm-Methode“ verwendet. Bei dieser Methode liegen der High-Bezugspegel bei 90% und der Low-Bezugspegel bei 10%. Der Vorteil dabei ist, dass Über- und Unterschwingungen nicht berücksichtigt werden und die Ermittlung somit nicht verfälscht wird, siehe dazu Abbildung 29. [14]

Die Bezugspegel werden variabel mithilfe der Angabe über den aktuellen Sollwert der Bordnetzspannung ermittelt und anschließend eingestellt.

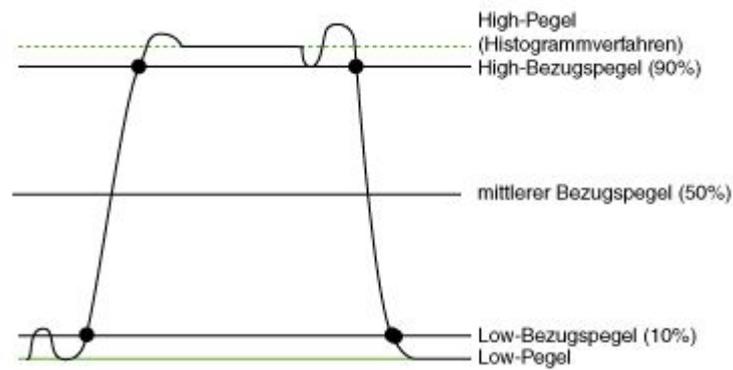


Abbildung 29: Histogramm-Methode [14]

Da die Fehler der KPE über die Massetaktung signalisiert werden, wird für die Fehlererkennung die Impulsdauer des Low-Pegels benötigt. Hierfür werden die Flanken des PWM-Signals kontinuierlich betrachtet und ausgewertet. Die Amplitude des Signals wird stets mit den Bezugspegeln verglichen, um zwischen High- und Low-Pegel unterscheiden zu können. Weitergehend werden die Zeiten gemessen, an denen als letztes der High- und der Low-Pegel erreicht wurden. Aus der Differenz der beiden Werte wird die Zeit der Massetaktung berechnet:

$$t_{low} = t_{last\_low} - t_{last\_high} \quad \text{Gleichung 4}$$

Die fünf verschiedenen Fehlercharakteristiken (F1 bis F5) sind für jedes Steuergerät in einer „Case-Struktur“ hinterlegt. In der Abbildung 28 ist als Beispiel die Charakteristik F1 zu sehen. Prinzipiell wird die berechnete Impulsdauer des Low-Pegels ( $t_{low}$ ) mit Zeitbereichen, welche repräsentativ für bestimmte Fehler sind, verglichen. Zum Beispiel liegt der Fehler 1 der Fehlercharakteristik F1 zwischen 900 ms und 1100 ms. Befindet sich die ermittelte Zeit in diesem Bereich, so wird der Fehler 1 in der Bedienoberfläche angezeigt. Zeiten, die zwischen den Bereichen der Fehler liegen, haben keinerlei Einfluss.

Um einmalige oder nur kurzzeitige Fehler dauerhaft in der Oberfläche anzuzeigen und die Möglichkeit eines Fehlerresets herzustellen, wurden für die vier möglichen Zustände „numerische Prioritäten“ eingeführt:

- Kein anliegender Fehler & Reset AUS: 0 (Anzeige: inaktiv)
- Anliegender Fehler: 1 (Anzeige: aktiv)
- Reset des Fehlers: 2 (Anzeige: inaktiv)

Aus diesen „Prioritäten“ wird stetig der maximale Wert ermittelt und dementsprechend die Fehleranzeige aktiv oder inaktiv gesetzt.

### 5.3.4. Öffnen-Schreiben-Speichern

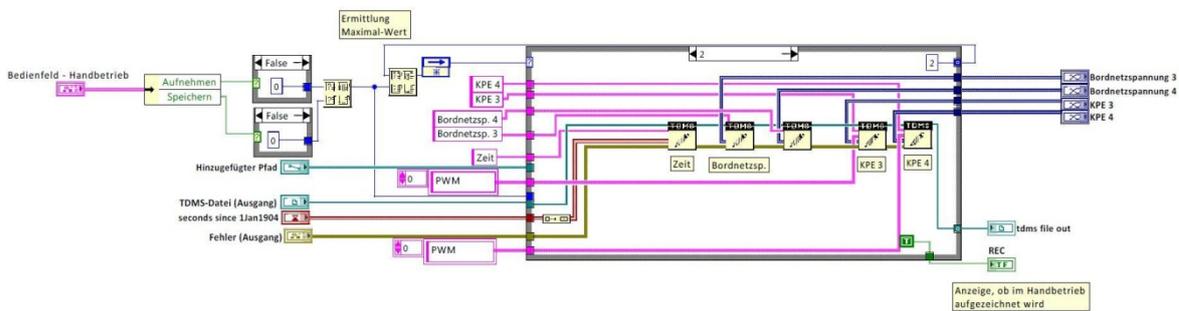


Abbildung 30: LabView-Funktion „Öffnen\_Schreiben\_Speichern Handbetrieb“

Für die Speicherung der Messdaten wird ebenfalls eine „Case-Struktur“ verwendet. Jene für die Speicherung im Handbetrieb benötigten Fälle sind in der Tabelle 6 aufgelistet.

Fall	Funktion
0	Warten auf eine Aufnahme
1	Anlegen oder Öffnen einer .TDMS Datei
2	Schreiben der Messwerte in die Datei
3	Speichern und Schließen der Datei
4	Warten auf Aufnahme einer neuen Prüfung

Tabelle 6: „Case-Struktur“ Speichern

Grundlegend werden für das Speichern von Messwerten lediglich die „Cases“ Öffnen, Schreiben und Schließen benötigt. Die zwei weiteren Fälle sind nur für die Messwert-Speicherung im Handbetrieb notwendig, da in diesem Fall unter Umständen mehrere Dateien zu verschiedenen Zeiten angelegt werden müssen. In der Abbildung 30 ist das Schreiben in eine .TDMS Datei abgebildet. Hier werden die Messwerte angeschlossen und mit

den entsprechenden Kanal- oder Gruppennamen versehen. Desweiteren ist die Steuerung der Messwert-Speicherung im Handbetrieb zu erkennen. Diese funktioniert, wie auch die Fehlererkennung in dem Analyse.VI, nach dem Prinzip der „Prioritäten“.

In der Tabelle 7 ist die Zuordnung zwischen dem Schaltverhalten der Buttons („Aufnehmen“ und „Speichern“) und den Prioritäten dargelegt.

Schalter	Schaltzustand	Priorität	Aktion
Aufnehmen	AUS	0	Case 0: Warten
	AN	1	Case 1: Öffnen und anschließend Case 2: Schreiben
Speichern	AUS	0	Case 0: Warten
	AN	3	Case 3: Schließen und anschließend Case 4: Warten

Tabelle 7: Speichern - Handbetrieb

Aus diesen „Prioritäten“ wird ebenso der maximale Wert ermittelt, welcher anschließend den entsprechenden Fall aufruft. Bei dem Schaltzustand „Aufnehmen: AN“ liegt die Besonderheit darin, dass sowohl eine neue Datei angelegt und geöffnet, als auch das Schreiben in diese Datei automatisch gestartet wird. In gleicher Weise wird bei dem Zustand „Speichern: AN“ der Fall 4 selbständig nach dem Schließen der Datei aufgerufen.

### 5.3.5. Kommunikation mit dem Klimaschrank

Die Kommunikation zwischen dem Programm und dem Klimaschrank wird über eine Ethernet-Schnittstelle umgesetzt. Das Programm schickt dafür einen Sende-String mit den einzustellenden Sollwerten an den Klimaschrank und dieser erwidert mit einem Antwort-String. In dem Antwort-String ist die Information enthalten, ob der erhaltene Sende-String akzeptiert (0) oder nicht akzeptiert wird. In dem Sende-String müssen neben den Sollwerten der Regelgrößen weitere Parameter angegeben werden, welche in der Abbildung 31 verdeutlicht sind. Weitergehend ist der formale Aufbau eines Sende-Protokolls aufgeführt. [15]

\$	01	E	0025.0	0000.0	0000.0	0000.0	0000.0	0000.0	0000.0	0	1	0	...	0	<CR>
Text- anfang	Bus- adresse		Sollwert Temperatur	Sollwert Feuchtigkeit	Stellwert 1	Unbenutzt	Unbenutzt	Unbenutzt	Unbenutzt	Kanal 1: AUS	Kanal 2: AN	Kanal 3: AUS	Kanal 4 bis 32	Kanal 32: AUS	Textende

Abbildung 31: Sende-Protokoll an den Klimaschrank

Die weiteren Parameter enthalten 32 Digitalkanäle, welche immer mit übertragen werden. Der zweite digitale Kanal ist dabei für den Betriebsmodus des Klimaschranks zuständig. Wird dieser Wert innerhalb des Sende-Strings auf „1“ gesetzt, so wird der Test gestartet und der gesendete Sollwert der Temperatur eingestellt.

In dem Programm „Klima - Ethernet.VI“ ist dieser Sende-String bis auf die Angabe „Sollwert der Temperatur“ fest eingestellt. Die Sollwerte der Temperatur werden aus der .CSV Datei entnommen. Die weiteren maßgeblichen Schritte des SubVi's sind in der folgenden Abbildung dargestellt:

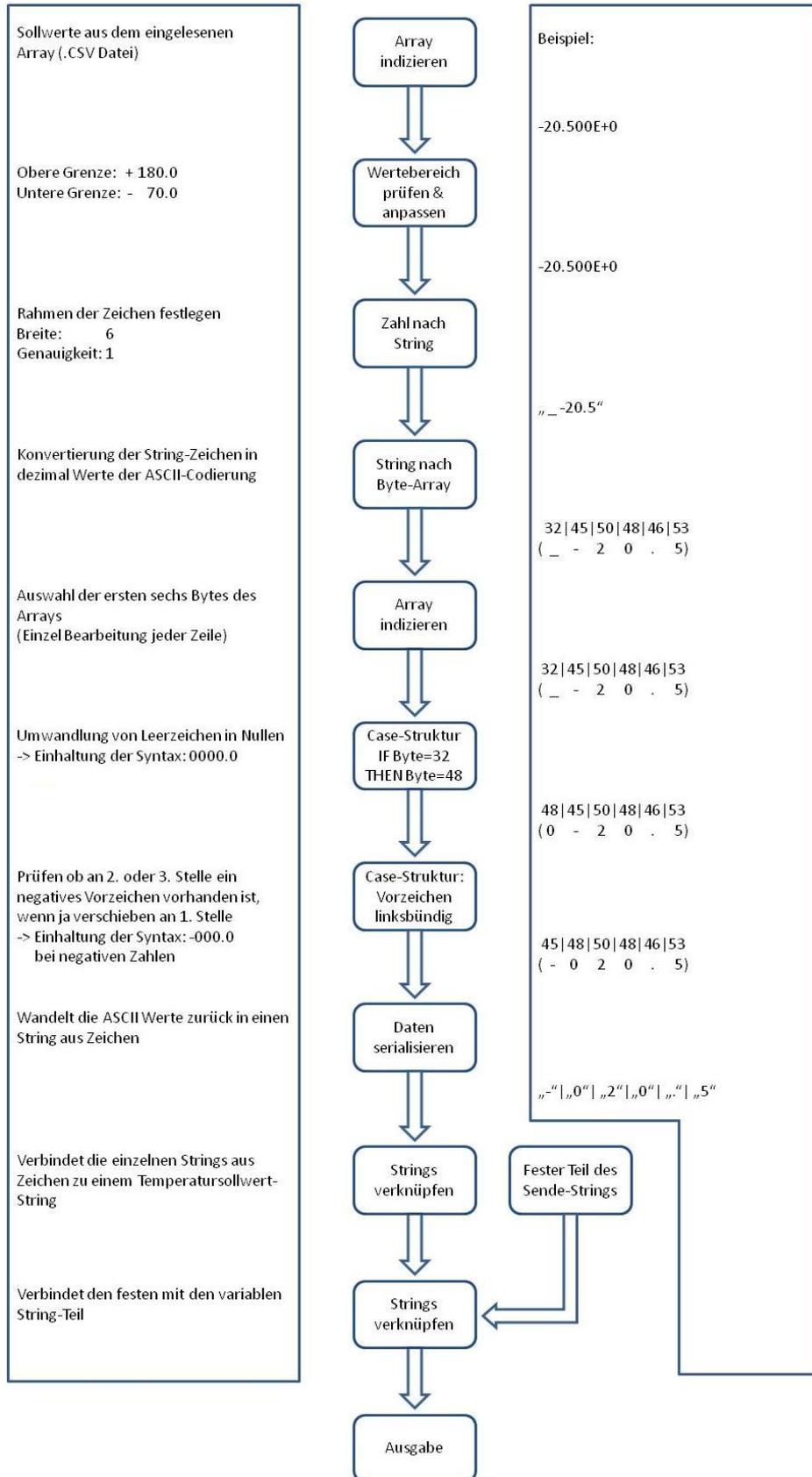


Abbildung 32: Zustandsdiagramm Klimaschrank

Die Ethernet-Schnittstellen kommunizieren über eine „Transmission Control Protocol/Internet Protocol“ (TCP/IP). Der Klimaschrank übernimmt die Funktion des Servers in der Verbindung. Aus diesem Grund muss der Computer, welcher als Client fungiert, die Verbindung zu dem Klimaschrank eröffnen und aufbauen. Für eine erfolgreiche Verbindung müssen die IP-Adresse und die Portnummer des Klimaschranks in dem Programm festgelegt werden. Verwendet werden folgende Adressen:

IP-Adresse Computer	192.168.100.100
IP-Adresse Klimaschrank	192.169.100.101
Subnetzmaske	255.255.255.0
Portnummer	2049

Tabelle 8: Adressen Kommunikation

Wie in Abbildung 33 zu erkennen, dient das Unterprogramm hauptsächlich dazu, die in der .CSV-Datei eingegebenen Sollwerte in die für die Übertragung benötigte Syntax zu konvertieren.

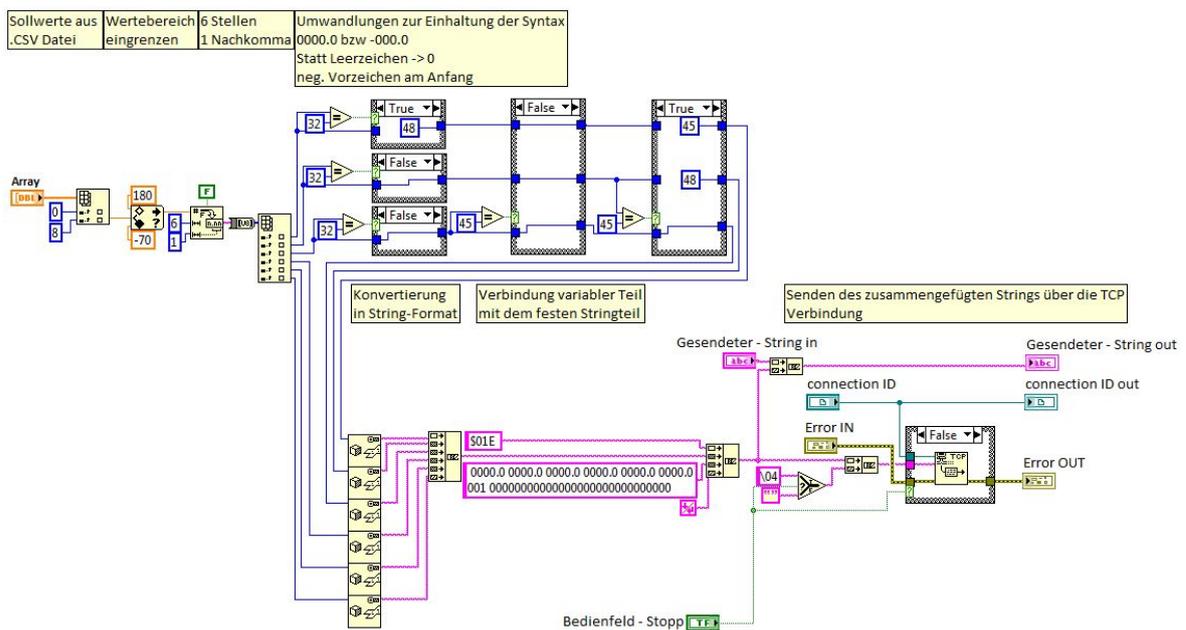


Abbildung 33: LabView-Funktion „Temperaturvorgabe“

Hierfür sind, wie in Abbildung 32 erklärt, die „Case-Strukturen“ maßgeblich zuständig. Nach der Konvertierung wird der variable String-Teil (Temperatur-Sollwert) mit dem festen String-Teil verknüpft und über die TCP/IP Verbindung an den Klimaschrank gesendet.

Unter der Touchpanel-Einstellung „Sollwert eingeben“ können die aktuellen Ist- und Sollwerte von Temperatur und Feuchte beobachtet werden, siehe dazu Anhang D.

## 6. Experimentelle Untersuchungen

### 6.1. Prüfung – Funktionalität des Prüfstandes

Nachdem der Prüfstand aufgebaut und die Programmierungen fertiggestellt waren, wurde der Versuchsstand einer Funktionsprüfung unterzogen. Die Untersuchung sah vor, den vollständigen Wertebereich der vier Stellgrößen (Tastverhältnis, Systemdruck, Bordnetzspannung und Temperatur) auf unterschiedliche Weise zu überprüfen. Dafür wurden die Stellgrößen zum Beispiel in Form einer steigenden und fallenden Rampe eingestellt.

Weitergehend wurde stets nur eine Stellgröße verändert und alle anderen Parameter blieben konstant. Somit können mithilfe dieser Untersuchung auch die Zusammenhänge zwischen der KPE, der Pumpe sowie den Betriebszuständen aufgezeigt und erklärt werden.

Für die Prüfung wurde eine EC-KPE des Herstellers HELBAKO vom Typ 5Q0.906.121 F und eine EC-Pumpe des Typs 5Q0.919 050P verwendet.

In der folgenden Abbildung werden die vorgegebenen Sollwerte den korrespondierenden Messwerten gegenüber gestellt.

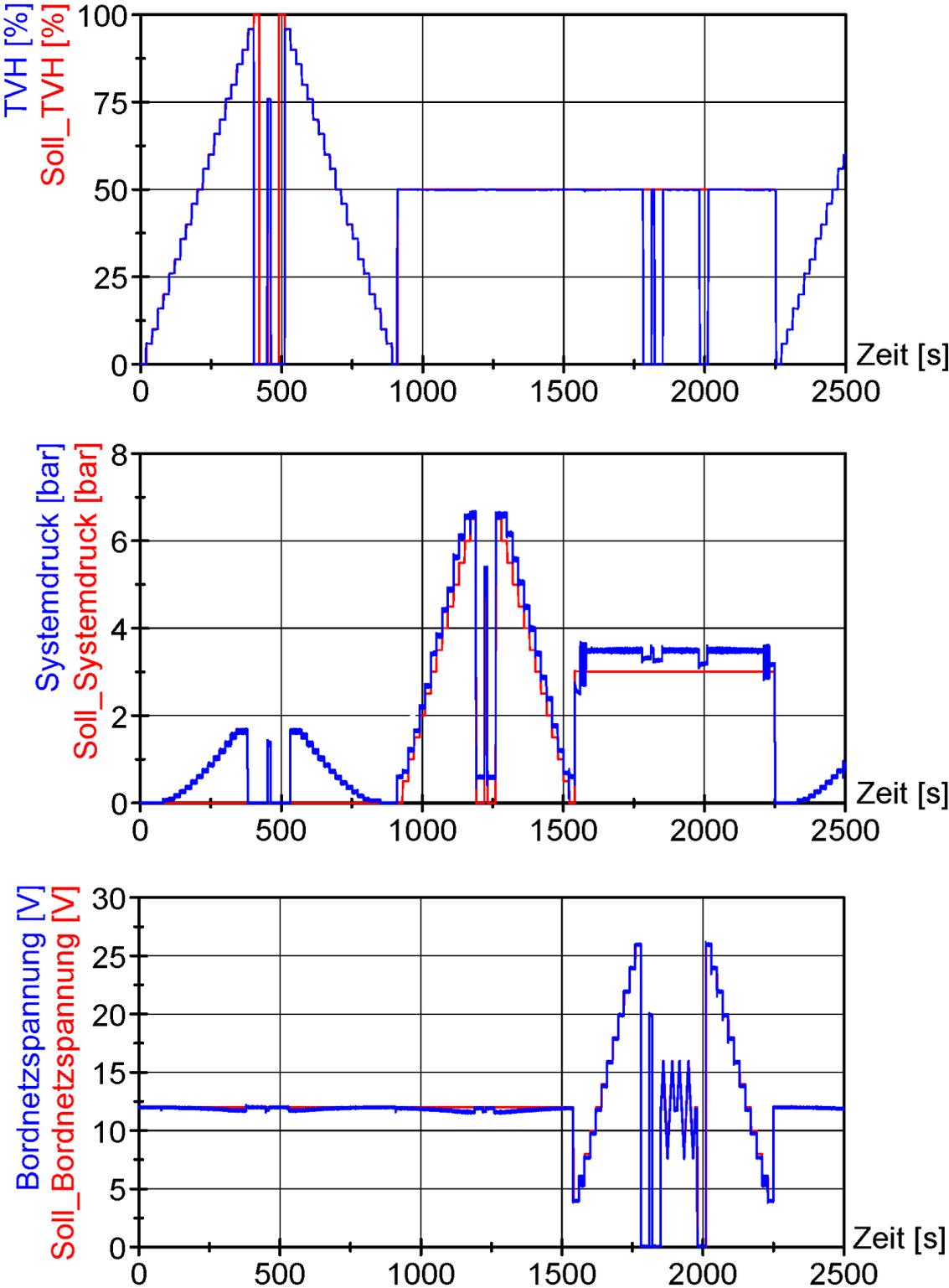


Abbildung 34: Sollwert-Istwert Vergleich der Stellgrößen

In dem ersten Diagramm werden das Soll-Tastverhältnis des PWM-Signals sowie das, aus den Messergebnissen berechnete, TVH abgebildet. Zu erkennen ist die stufenweise Erhöhung um 5%. Hierbei sind der Soll- und der Istwert bis zu einem TVH von 95% stets identisch. Bei einem Tastverhältnis von 100% liegt eine konstante Spannung an, sodass die LabView-Funktion nicht in der Lage ist, ein Tastverhältnis zu ermitteln und einen Wert von „0“ ausgibt. Dieser Effekt ist ebenso zu Beginn der fallenden „Rampe“ zu erkennen. Abgesehen davon entspricht das TVH des realen PWM-Signals bei jeder Veränderung dem Sollwert.

Bis zu dem Zeitpunkt von zirka 900 s ist der indirekte Einfluss des TVH auf den Systemdruck zu sehen. Mit dessen Erhöhung steigt die Drehzahl der Pumpe und damit der Volumenstrom in der Kraftstoffleitung, sodass der Druck ebenso ansteigt. Dieser Zusammenhang ist in der Gleichung 4 dargelegt:

$$p = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(\frac{Q}{A}\right)^2 \quad \text{Gleichung 5}$$

In dem Zeitbereich von 900 s bis ca. 1550 s erfolgt eine stufenweise Erhöhung, Senkung und ein Sprung des Drucks. Dabei fällt auf, dass der gemessene Druck stets höher ist als der eingestellte Solldruck. Dies ist darin begründet, dass der Druck auch von dem Volumenstrom abhängig ist und die Pumpe bei einem TVH von 50% schon einen Druck von ca. 0,6 bar aufbringt. Mithilfe des Druckreglers wird dann lediglich der Querschnitt der Kraftstoffleitungen über die verbauten Regelventile gesteuert. Jedoch ist klar zu erkennen, wie der gemessene Druck den Stufen des Solldrucks folgt.

In dem dritten Diagramm ist der Vergleich der Bordnetzspannung zu sehen. Zwischen 1550 s und 2250 s wurde die Amplitude der Bordnetzspannung variiert. Bei der steigenden und fallenden „Rampe“ liegen die Spannungspegel auf gleichem Niveau. Nur bei den Amplituden von 8 V bis 12 V sind minimale Unterschiede von ca. 0,1 V zu verzeichnen. Die Unterschiede sind durch die Toleranz von  $\pm 1$  % der Netzteile begründet. Jedoch ist auch an dem Sprung und den „Schwankungen“ zu erkennen, dass die geforderten Sollwerte realisiert werden.

Folgend wird näher auf die Einflüsse der einzelnen Stellgrößen eingegangen.

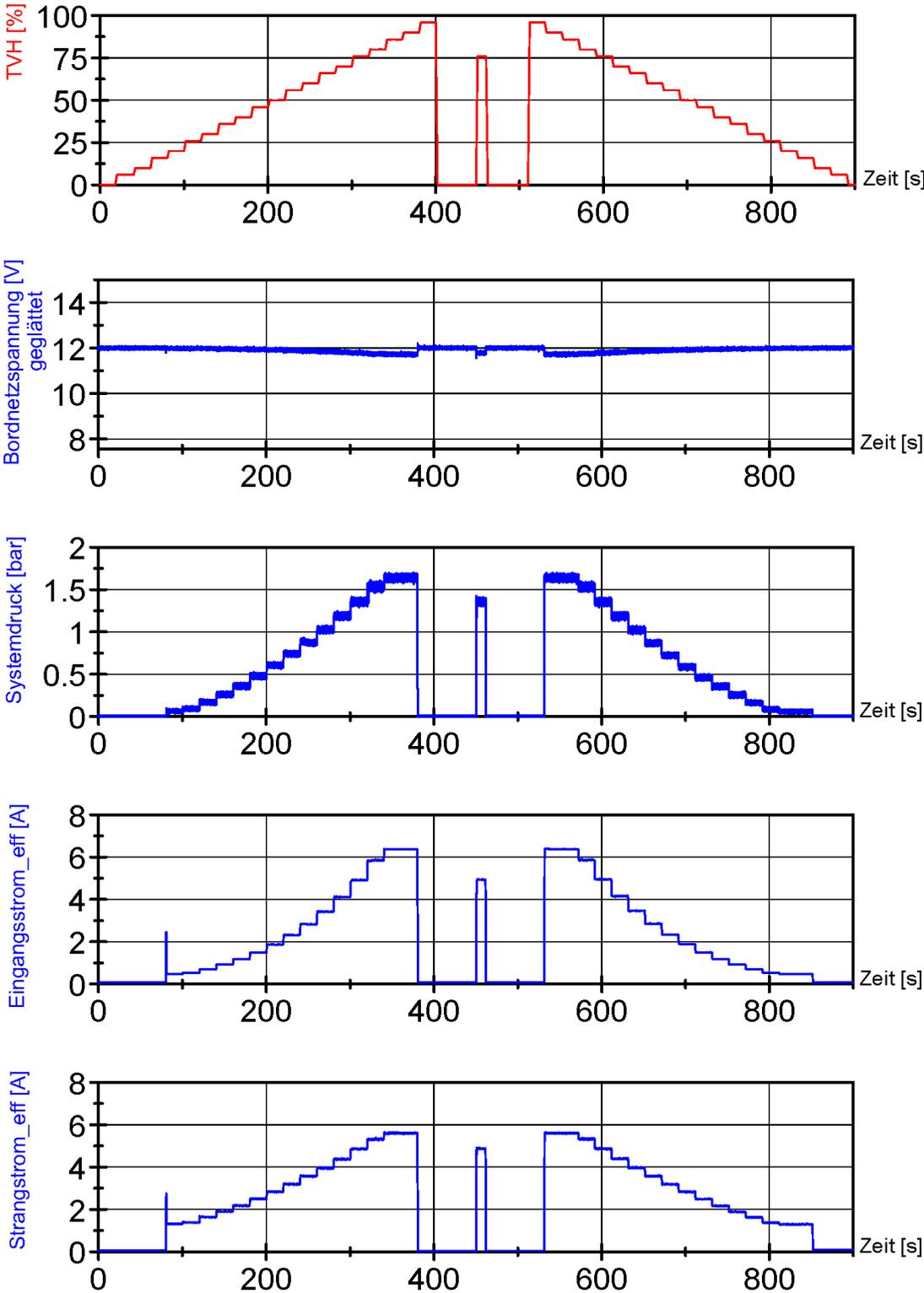


Abbildung 35: Einfluss des PWM-Signals

Die Abbildung 35 zeigt den Einfluss des Tastverhältnisses von dem PWM-Signal, welches für die Ansteuerung der Steuergeräte zuständig ist.

Die Prüfung beginnt bei einem TVH von 0 % und steigt alle 20 s um weitere 5 %. Nach dem Erreichen von 100 % erfolgt eine „Pause“ bei einem TVH von 0 %, gefolgt von einem Sprung auf 75 %. Anschließend fällt das TVH stufenweise von 100 % auf 0 %.

Es fällt auf, dass der Eingangs- und der Strangstrom einen Peak aufweisen, als das TVH auf einen Wert von 20 % springt. An diesem Punkt beginnt die Pumpe zu fördern. Aus diesem Grund wird ebenso ab 20 % Druck in dem System messbar. Die drei Messgrößen Systemdruck, Eingangsstrom und Strangstrom steigen dann wie das Tastverhältnis stufenweise an, bis ein Tastverhältnis von 90 % erreicht ist. Danach steht die Pumpe und die Ströme und der Druck fallen ab.

Bei der Bordnetzspannung ist zu beobachten, dass sie um bis zu 0,2 V abfällt, wenn der Eingangsstrom auf 6,4 A ansteigt. Die Netzteile verfügen zwar über eine „Sensing“-Funktion die gegen Abweichungen regeln kann, allerdings liegt der Regelbereich nur zwischen  $\pm 0,5$  V. Bis zu den Anschlüssen der KPE wurde ein Spannungsabfall von 0,3 V gemessen, wodurch der Regelbereich auf 0,2 V sinkt. Bei größeren Strömen kann es deshalb zu leichten Abweichungen kommen.

Ein steigendes Tastverhältnis bewirkt eine Erhöhung der Drehzahl der Pumpe. Dadurch wird der Volumenstrom erhöht, sodass der Druck in dem System ansteigt. Aus diesem Grund wird ein größerer Strom benötigt, da die Pumpe signifikant mehr Kraft aufbringen muss.

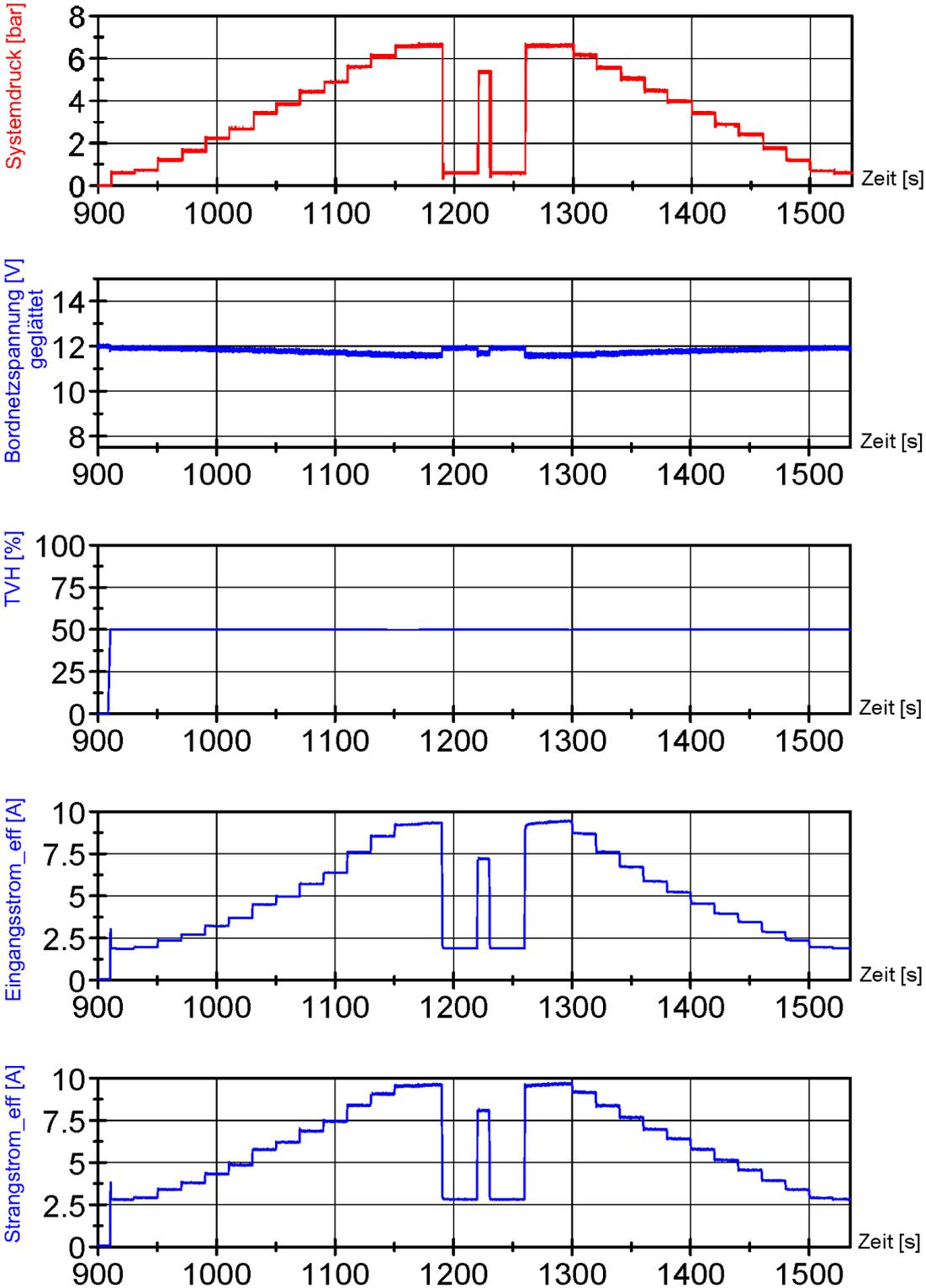


Abbildung 36: Einfluss des Systemdrucks

In der Abbildung 36 ist der Zeitbereich von 900 s bis 1525 s zu sehen, in welchem der Systemdruck verändert wurde. Auch der Systemdruck wurde in Form einer fallenden sowie steigenden Rampe und eines Sprungs eingestellt. Die Rampen sind in einem Bereich von 0 bis 6,5 bar in 0,5 bar Schritten realisiert, welche ebenso alle 20 s geändert wurden.

Für diesen Teil der Prüfung ist das TVH konstant 50 % gehalten und die Bordnetzspannung auf eine Amplitude von 12 V eingestellt. Jedoch ist zu erkennen, dass die Spannung bei steigendem Druck um bis zu 0,3 V kleiner wird, da der Eingangsstrom immer größer wird. Auch in diesem Fall ist der Regelbereich der „Sensing“-Funktion zu klein, um die auftretenden Spannungseinbrüche kompensieren zu können. Es ist zu erkennen, dass der Druck in dem System den Strangstrom direkt beeinflusst. In diesem Teil wird zusätzlich auch eine Veränderung des Eingangsstroms der KPE bewirkt, da die Bordnetzspannung „konstant“ war.

Im Gegensatz zu dem Versuchsteil mit der Variierung des Tastverhältnisses, sinken die Ströme nicht auf 0 A, da die Pumpe stetig aktiv ist.

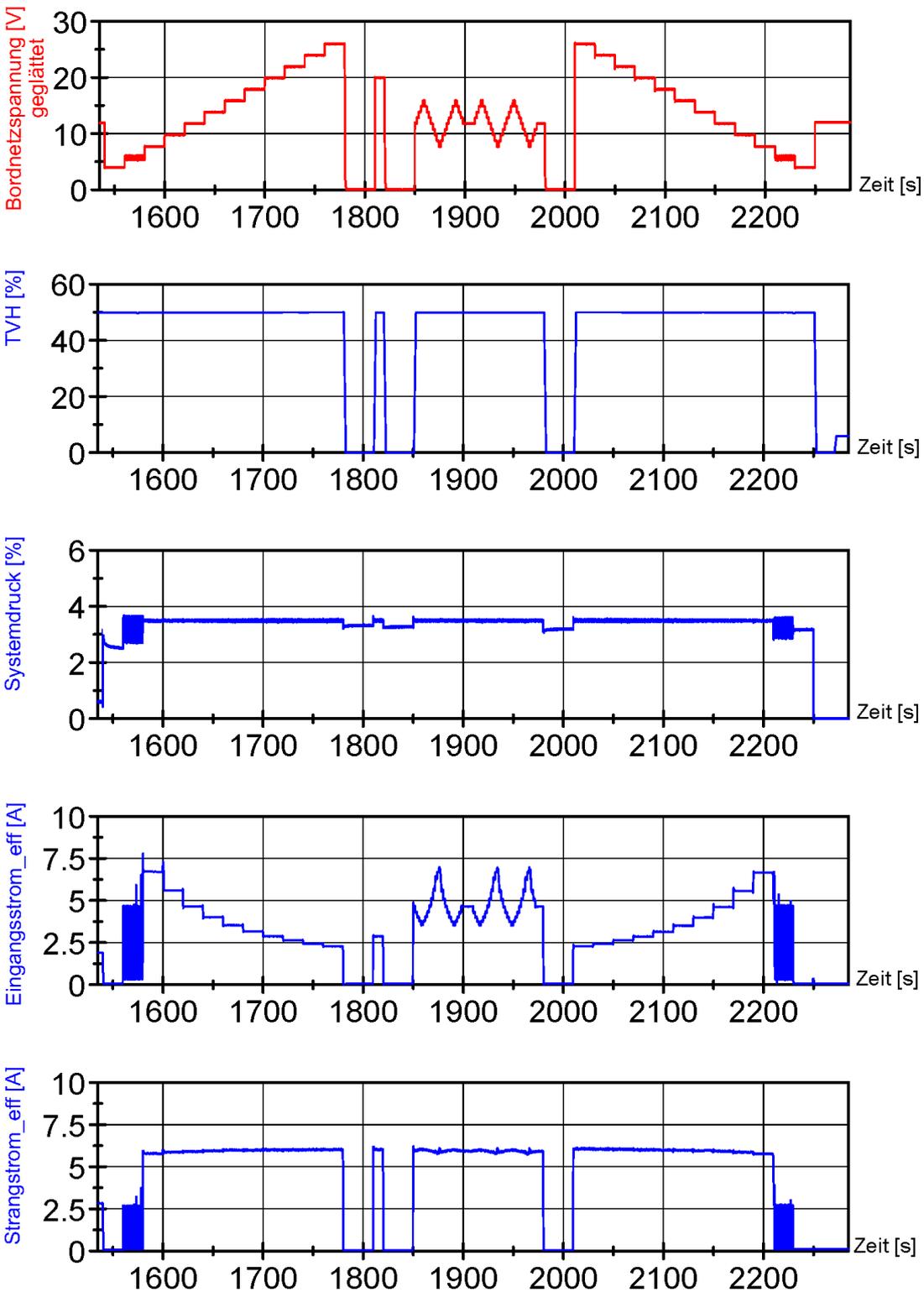


Abbildung 37: Einfluss der Bordnetzspannung

Der dritte Teil der Prüfung, zu sehen in der Abbildung 37, beinhaltet die Veränderung der Amplitude der Bordnetzspannung in einem Bereich von 4 V bis 28 V. Dabei fällt auf, dass bei einer Spannung von 4 V kein Strom fließt, denn der Betriebsbereich der Kraftstoffpumpenelektroniken liegt oberhalb von 6 V. Aus diesem Grund erfolgt keine Ansteuerung der Pumpe. Der Grenzbereich liegt bei einer Amplitude von 6 V. Die Pumpe war nicht in der Lage vollständig anzulaufen, sondern drehte nur ruckhaft. Das versuchte Anlaufen der Pumpe spiegelt sich in dem Druck und den Strömen wieder. Dort sind in dem Zeitbereich, als die Spannung 6 V betrug, starke Schwankungen zu erkennen. Ab 8 V läuft die Pumpe ruckelfrei an und hält die Drehzahl bis zu einer Spannung von 28 V. Deshalb bleibt der Druck nach dem Anlauf der Pumpe auf einem Pegel von 3,5 bar. Es ist zu erkennen, dass der Strangstrom relativ konstant 6 A beträgt, der Eingangsstrom jedoch mit steigender Spannung von 6,7 A auf bis zu 2,5 A sinkt. Durch die Verringerung des Eingangsstroms bleibt die aufgenommene Leistung konstant um 55 W. Bezüglich des Systemdrucks ist zu erwähnen, dass dieser sich nur sehr langsam abbaut, sodass stetig ein Druck vorhanden ist. Ein schneller Abbau des Drucks kann nur erreicht werden, wenn über den Druckregler kleinere Drücke eingestellt werden.

In der folgenden Abbildung ist die Prüfung der Temperatureinstellung zu sehen.

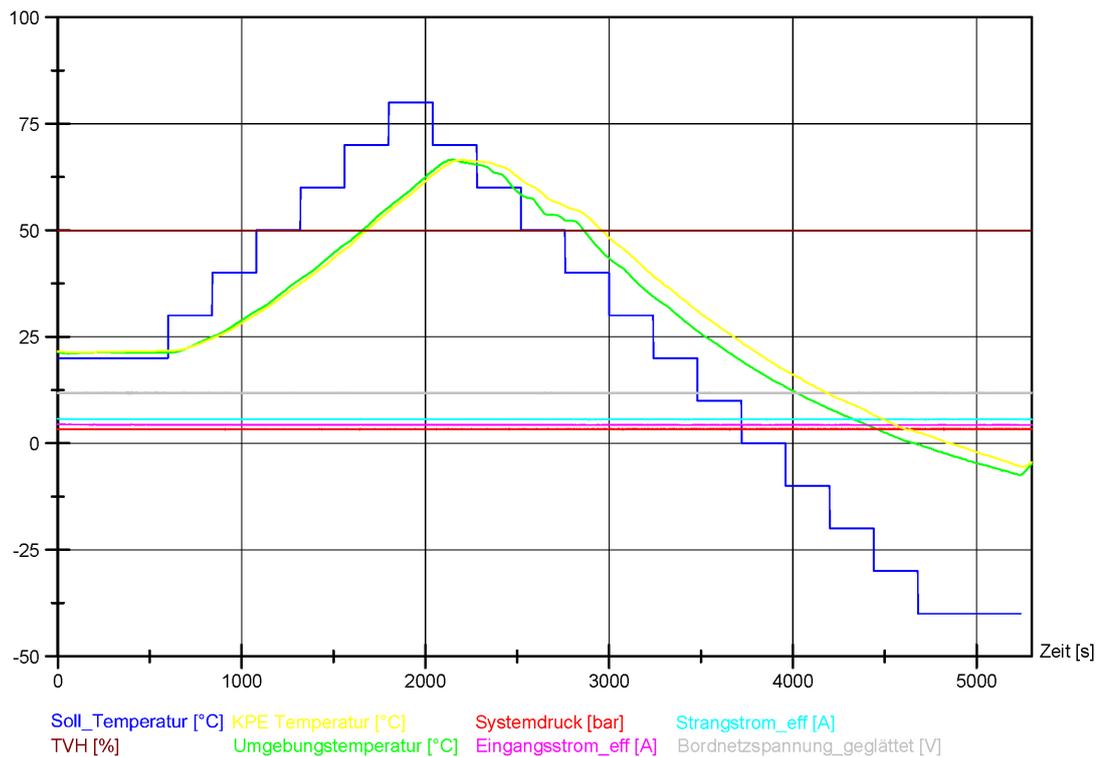


Abbildung 38: Einfluss der Temperatur

In diesem Teil der Untersuchung wurde die Temperatur zu Beginn auf einen Startwert von 20 °C eingestellt. Hierfür wurden 10 min eingeplant, da die Temperatur vor Beginn der Prüfung der Umgebungstemperatur entsprach. Danach sollte in Schritten von jeweils 4 min die Temperatur um 10 K erhöht werden. Die Herstellerangabe für die Änderungsgeschwindigkeit beträgt, wie bereits in Kapitel 4.6 erwähnt, 3,5 K/min, sodass die Änderung nach maximal 3 min vollzogen ist und der Temperaturwert für 1 min konstant gehalten wird. Jedoch ist in der Abbildung 38 erkennbar, dass die eingestellte Solltemperatur nach den anfänglichen 20 °C nie erreicht wurde. Der Grund dafür ist ein Wartungsstau des Klimaschranks, wodurch die Änderungsgeschwindigkeit drastisch verringert ist.

Allerdings konnte zum einen auf dem Touchpanel der einzustellende Sollwert verfolgt werden und zum anderen ist in dem Diagramm zu sehen, dass die gemessenen Temperaturen der Solltemperatur verzögert folgen. Aus diesem Grund konnte trotz des Wartungsstaus die korrekte Funktion der Programmierung festgestellt werden.

Außerdem ist zu sehen, dass die Temperatur im Bereich von +65 °C bis – 10 °C keinen Einfluss auf die Funktionalität der KPE haben, da alle Messwerte stets konstant sind.

## 6.2. Beispielprüfung – Jumpstart

Um einen kleinen Einblick in die Prüfungen zu erlangen, die mit dem Versuchsstand umgesetzt werden, wurde die Prüfung „E-04 Jumpstart“ aus der VW Konzernnorm 80000 durchgeführt.

Zweck der Untersuchung ist es, einen Fremdstart des Kraftfahrzeuges mit einer Lkw-Batterie zu simulieren. Die maximale Prüfspannung ergibt sich dabei aus der erhöhten Bordnetzspannung von Nutzkraftfahrzeugsystemen. [16]

Für den elektrisch angeschlossenen Prüfling ist die Betriebsart „ll.c“ vorgeschrieben. Hierbei ist der Prüfling mit maximaler Betriebslast zu betreiben, sodass er eine maximale Eigenwärmung erzeugt. Im Fall der verwendeten EC-Kraftstoffpumpenelektronik (5Q0.906.121 F) liegt dieser Betriebszustand bei einem TVH von 75 % und einem Systemdruck von ca. 5 bar. Weiterhin wird für die Bewertung der Prüfungsergebnisse für startrelevante Komponenten der Funktionszustand „B“ gefordert. Dieser besagt, dass alle Funktionen wie vorgegeben zu erfüllen sind, jedoch eine oder mehrere Funktionen außerhalb der Toleranzen liegen können. [16] Laut Lastenheft darf eine Schwankung der Bordnetzspannung zu keiner Abweichung der Drehzahl der Pumpe führen.

Ausgewählt wurde diese Prüfung, weil somit die neue Funktion der Veränderung der Amplitude der Bordnetzspannung eingebunden wird. In der folgenden Abbildung sind die gewonnenen Messergebnisse zu sehen.

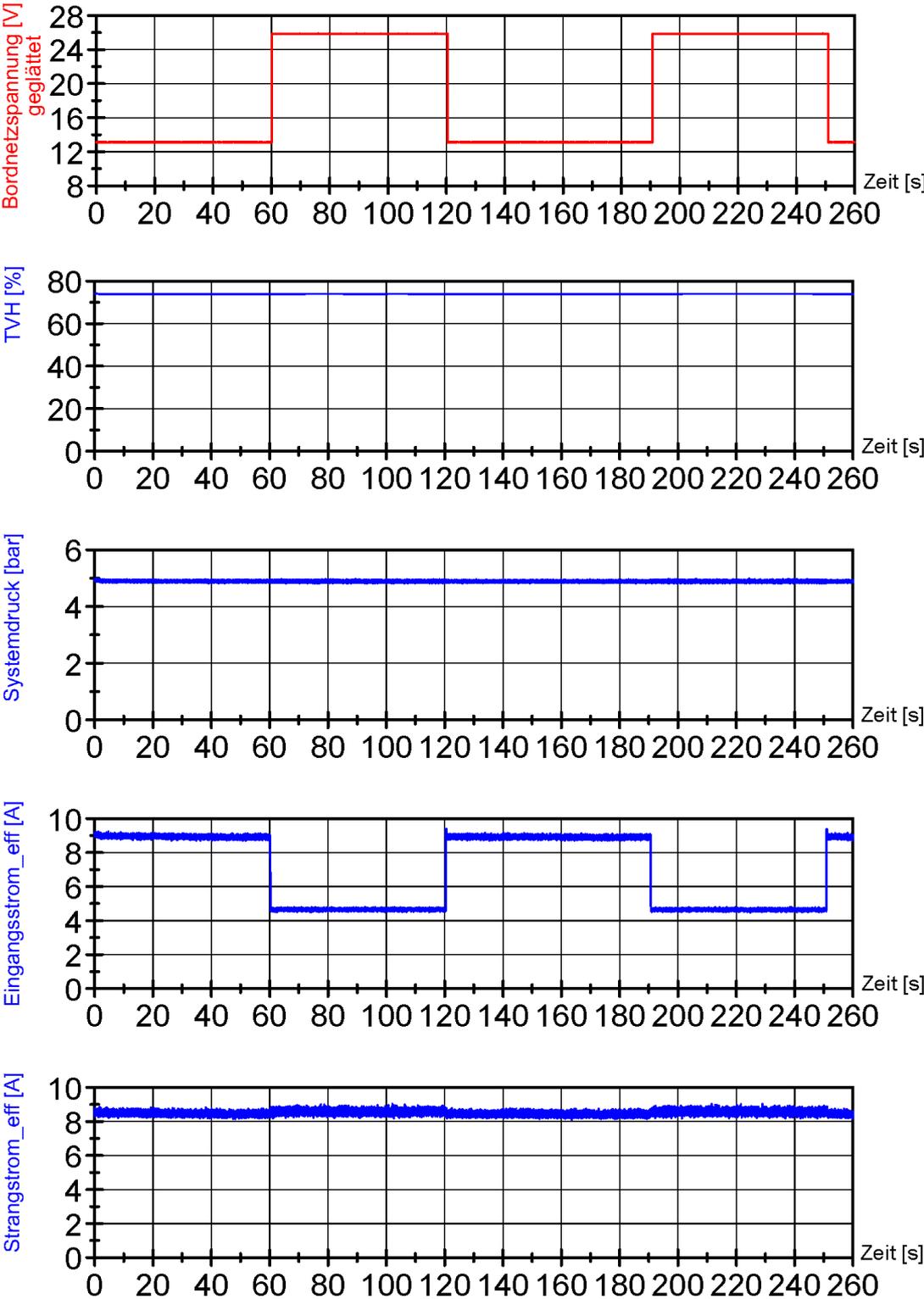


Abbildung 39: Prüfung - Jumpstart

Die Prüfung Jumpstart beginnt mit einer Bordnetzspannung von  $U_{\min} = 13,5 \text{ V}$ . Nach 60 s erfolgt dann der Sprung auf  $U_{\max}$  von 26 V, ebenfalls für 60 s. Damit die Messergebnisse bestätigt sind und eventuelle „Ausreißer“ erkannt werden können, wurde die Prüfung mit zwei Zyklen durchgeführt.

Zu erkennen sind die Sprünge auf 26 V für 60 s, wie sie in der VW 80000 gefordert sind. Die Prüfung selbst konnte demzufolge ordnungsgemäß durchgeführt werden und bietet so Aufschluss über die Funktionalität der Kraftstoffpumpenelektronik. Anhand des Systemdrucks ist zu erkennen, dass der Sprung keinen Einfluss auf die Drehzahl der Pumpe hatte, da dieser über den gesamten Zeitraum konstant auf 4,9 bar liegt. Der Strangstrom steigt bei der Erhöhung der Spannung um 0,1 A auf 8,55 A an. Weitergehend ist anhand der Messwerte der Zusammenhang zwischen der Bordnetzspannung und dem Eingangsstrom, wie bei der „Prüfung – Funktionalität des Prüfstandes“, zu sehen. Der Eingangsstrom sinkt bei den Sprüngen auf 26 V von 8,95 A auf einen Wert von 4,65 A.

Das ausschlaggebende Kriterium für diese Prüfung ist, dass die Pumpe trotz der erhöhten Spannung den Kraftstoff weiterhin fördert. Zu tolerieren wäre in der Prüfung ein Ausfall der Fehlersignalisierung.

Die Prüfung „Jumpstart“ zeigt, dass ein Fremdstart des Kfz mit einer Lkw-Batterie zu keiner Einschränkung der Kraftstoffförderung aus dem Kraftstofftank führt. Die Funktion Steuerung der Kraftstoffpumpe ist mit der KPE „5Q0.906.121 F“ des Herstellers HELBAKO somit wie vorgegeben erfüllt.

## 7. Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel dieser Bachelorarbeit war der vollständige Aufbau und die Inbetriebnahme eines automatisierten Prüfstandes, welcher von der B&W Fahrzeugentwicklung GmbH für Funktionsprüfungen von Kraftstoffpumpenelektroniken eingesetzt werden soll. Eine Hauptaufgabe war dabei der Parallelbetrieb einer automatisierten und einer manuellen Prüfung. Weitere Schwerpunkte lagen in der Einbindung eines Klimaschranks, der Temperaturmessung sowie der Umsetzung der Sollwertvorgabe für den Automatikbetrieb über .CSV-Dateien. Dabei konnten, bis auf die gewünschte Echtzeit-Fehlererkennung, alle geforderten Funktionen umgesetzt werden. Die Ursache dafür liegt an dem zurzeit verwendeten Computer, da dessen Rechenleistung nicht ausreichend ist. Für eine zuverlässige Fehlererkennung während einer Prüfung müssten die Flanken des PWM-Signals wenigstens jede Millisekunde eingelesen und verarbeitet werden.

Eine weitere Lösung wäre, in ein neues Chassis für die Messwert-Aufnahme zu investieren. Sinnvoll wäre, das eingesetzte Chassis cDAQ-9172 des Messsystems durch ein aktuelles cDAQ-9178 zu ersetzen. Hiermit könnten dank der „Multiple Timing Engines“-Funktion unterschiedliche Abtastraten für verschiedene Slots eingestellt werden. Damit könnte die Menge der zu verarbeiteten Messwerte verkleinert und somit zusätzlich die Größe der gespeicherten Daten komprimiert werden.

Weiterhin ist bei den Experimentellen Untersuchungen aufgefallen, dass das interne „Sensing“ der Netzteile SPV-1500-24 lediglich mit  $\pm 0,5$  V gegen Spannungsabweichungen regeln kann, jedoch durch verschiedene Lastzustände größere Abweichungen und Spannungseinbrüche unter den KPE 1&2 oder 3&4 auftreten können. Aus diesem Grund wären vier steuerbare Netzteile, kombiniert mit einer selbst programmierten Regelung, von Vorteil.

Desweiteren könnte eine Not-Abschaltung, beruhend auf der Beobachtung der eingelesenen Druckwerte, realisiert werden, sodass eine Abschaltung der Pumpen im Falle eines rapiden Druckabfalls ausgelöst werden würde. Für die Umsetzung innerhalb dieser Bachelorarbeit war der zeitliche Rahmen allerdings nicht gegeben.

Unter Berücksichtigung der oben genannten Abweichungen, wird der Prüfstand allen Anforderungen auf der Steuerungsebene gerecht. Die Aufgabenstellung bzgl. Der Messwert-Aufnahme sowie Speicherung konnte umgesetzt und die vorhandenen Erwartungen erfüllt werden. Insgesamt kann nach den Prüfungen die Aussage getroffen werden, dass der Versuchsstand für Prüfungen gemäß der Konzernnorm VW 80000 geeignet ist.

Die Abbildung 40 zeigt abschließend den in der Bachelorarbeit angefertigten Prüfstand.



Abbildung 40: Fertiggestellter Prüfstand

## 8. Verzeichnisse

### 8.1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Drucksysteme des Versuchstandes.....	4
Abbildung 2: Prüfstand vor der Erweiterung .....	5
Abbildung 3: Aufbau des Niederdruck Kraftstoffsystem [3] .....	9
Abbildung 4: Beispiel Kraftstoffpumpenelektronik [2] .....	10
Abbildung 5: Systemumgebung einer KPE [6] .....	12
Abbildung 6: Kommunikationsstruktur der Hardware.....	15
Abbildung 7: Schaltplan der Spannungsversorgung.....	17
Abbildung 8: Kennlinie Meanwell SPV-1500-24.....	20
Abbildung 9: Schaltplan der Transistorschaltung.....	21
Abbildung 10: Kennlinie LEM HY 15-P .....	23
Abbildung 11: Oberseite der Platinen .....	24
Abbildung 12: Typisches NI-Messsystem .....	25
Abbildung 13: Thermospannung Typ-K [13].....	27
Abbildung 14: Messsystem des Prüfstandes.....	27
Abbildung 15: Klimaschrank .....	28
Abbildung 16: Druckminderer .....	29
Abbildung 17: Anordnung der Hardware .....	31
Abbildung 18: Anschlüsse des Prüfstandes.....	33
Abbildung 19: Grundfunktionen der Programme .....	34
Abbildung 20: Funktionen des Programms „4x Dauerlauf“ .....	36
Abbildung 21: Bedienoberfläche - Start .....	37
Abbildung 22: Beispiel Sollkurven in Excel .....	38
Abbildung 23: Bedienoberfläche „4x Dauerlauf“ .....	40
Abbildung 24: Bedienoberfläche "Dauerlauf & Handbetrieb".....	42
Abbildung 25: Funktionen des Programms „Dauerlauf & Handbetrieb“ .....	43
Abbildung 26: Wiederholtes Einlesen .....	44
Abbildung 27: Sortierung und Skalierung der Signale.....	45

---

Abbildung 28: LabView-Funktion „Analyse der PWM-Signale“ .....	46
Abbildung 29: Histogramm-Methode [14] .....	47
Abbildung 30: LabView-Funktion „Öffnen_Schreiben_Speichern Handbetrieb“ .....	48
Abbildung 31: Sende-Protokoll an den Klimaschrank .....	50
Abbildung 32: Zustandsdiagramm Klimaschrank .....	51
Abbildung 33: LabView-Funktion „Temperaturvorgabe“ .....	52
Abbildung 34: Sollwert-Istwert Vergleich der Stellgrößen.....	55
Abbildung 35: Einfluss des PWM-Signals .....	57
Abbildung 36: Einfluss des Systemdrucks .....	59
Abbildung 37: Einfluss der Bordnetzspannung .....	61
Abbildung 38: Einfluss der Temperatur.....	63
Abbildung 39: Prüfung - Jumpstart.....	65
Abbildung 40: Fertiggestellter Prüfstand .....	68

---

## 8.2. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispiel, Diagnosefähigkeit KPE [6].....	11
Tabelle 2: Spezifikation der Betriebsbereiche einer KPE .....	13
Tabelle 3: Verwendete I/O Module .....	26
Tabelle 4: Anschlüsse Temperaturmessung.....	33
Tabelle 5: Wertebereich Sollwerte .....	39
Tabelle 6: „Case-Struktur“ Speichern .....	48
Tabelle 7: Speichern - Handbetrieb .....	49
Tabelle 8: Adressen Kommunikation.....	52

### 8.3. Literaturverzeichnis

- [1] GESTIS-Stoffdatenbank, Soddard\_Spezifikationelle\_Seiten(2).pdf, 2007.
- [2] Continental, [Online]. Available: [http://www.continental-corporation.com/www/presseportal\\_com\\_de/themen/pressemitteilungen/3\\_automotive\\_group/powertrain/press\\_releases/pr\\_2010\\_06\\_16\\_fuel\\_supply\\_de.html](http://www.continental-corporation.com/www/presseportal_com_de/themen/pressemitteilungen/3_automotive_group/powertrain/press_releases/pr_2010_06_16_fuel_supply_de.html).  
[Zugriff am 12 April 2014].
- [3] Volkswagen AG, „Selbststudienprogramm 334, Kraftstoffsystem der FSI Motoren.pdf,“ Wolfsburg, 09/2004.
- [4] Volkswagen AG, „Selbststudienprogramm 403, Der 2,0l-TDI-Motor mit Common-Rail-Einspritzsystem.pdf,“ Wolfsburg, 10/2007.
- [5] N. Quander, „Bachelorarbeit, Kraftstoffvorwärmung mittels elektronisch-kommutierter Kraftstoffpumpe,“ Wolfsburg, 2012.
- [6] P. Kaczmarczyk, „Bauteile Lastenheft, Kraftstoffpumpenelektronik,“ Ingolstadt, 2008.
- [7] Volkswagen AG, „Ergänzung BT-LAH Basismodul für 16A EC-KPE Variante,“ Wolfsburg, 04/2013.
- [8] Meanwell, „datasheet\_meanwell\_SPV-1500-SPEC,“ 2012-06-04.
- [9] Meanwell, „datasheet\_meanwell\_PS-25-SPEC,“ 2013-08-08.
- [10] Meanwell, „datasheet\_meanwell\_PD-25-SPEC,“ 2013-08-08.
- [11] tecsis, „Drucksensor\_tecsis\_P3301-dd711,“ 05/2011.
- [12] UNIVER, „P31\_Technical Catalogue“.
- [13] DIN EN 60584-1, „Thermopaare - Teil 1: Grundwerte der Thermospannungen,“ 1996.

[14] LabView-Hilfe, „High-, Low- und Bezugspegel“.

[15] Weiss Umwelttechnik GmbH, Betriebsanleitung Klimaschrank, 2009.

[16] Volkswagen AG, „Konzernnorm VW 80000,“ 2009.

## 9. Anhang

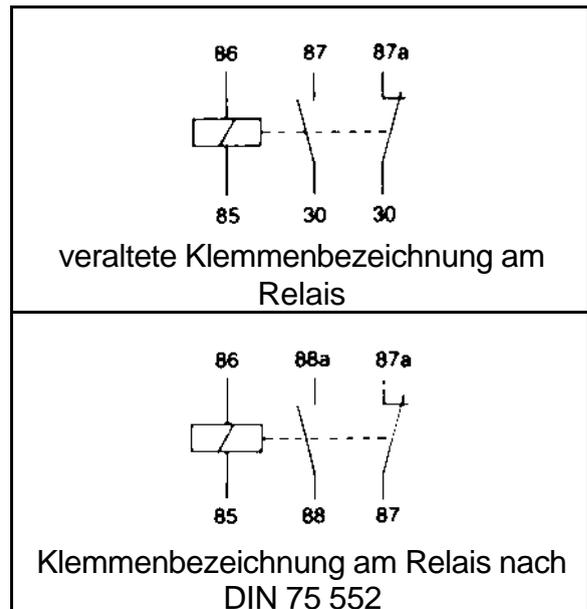
### Anhang A:

# Klemmenbezeichnungen im KFZ (nach DIN 72552)

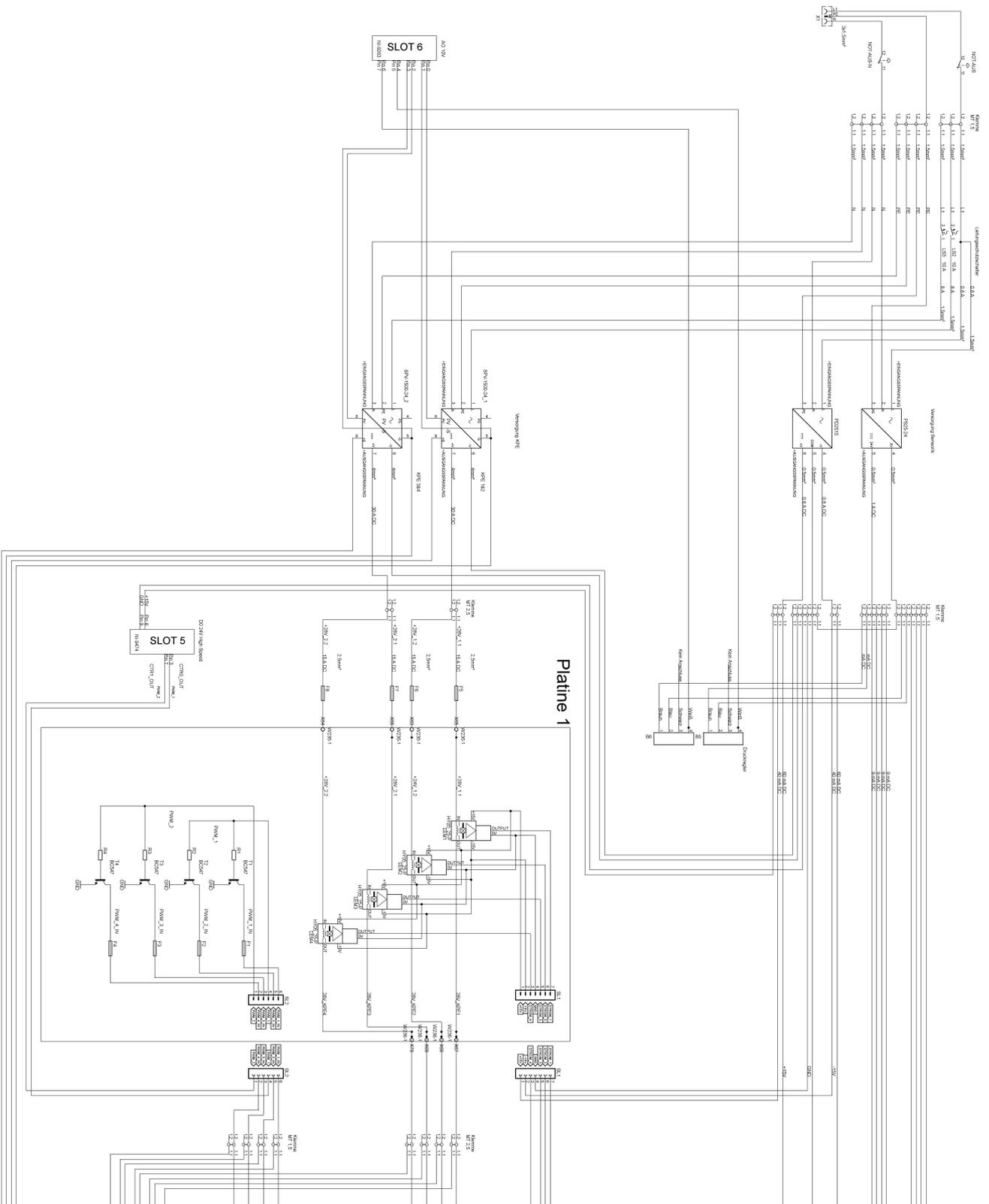
<b>1</b>	Niederspannung (Zündspule – Zündverteiler)
	Zündverteiler mit 2 getrennten Stromkreisen:
<b>1a</b>	zum Zündunterbrecher I
<b>1b</b>	zum Zündunterbrecher II
<b>2</b>	Kurzschließklemme (Magnetzünder)
<b>4</b>	Hochspannung (Zündspule – Zündverteiler)
	Zündverteiler mit 2 getrennten Stromkreisen:
<b>4a</b>	von Zündspule I, Klemme 4
<b>4b</b>	von Zündspule II, Klemme 4
<b>15</b>	Ausgang Fahrt(Zünd-)schalter (Plus geschaltet)
<b>15a</b>	Eingang Schaltgerät TSZ / HKZ bzw. Vorwiderstand
<b>16</b>	Überbrückung Vorwiderstand (am Anlasser)
<b>17</b>	Glühstartschalter – Starten
<b>19</b>	Glühstartschalter - Vorglühen
<b>30</b>	Eingang Batterie Plus (direkt)
<b>30a</b>	Eingang 2. Batterie Plus (Umschaltrelais 12 / 24V)
<b>31</b>	Rückleitung Batterie Minus oder Masse (direkt)
<b>31b</b>	Rückleitung Batt. Minus oder Masse über Schalter / Relais
	Elektromotoren:
<b>32</b>	Rückleitung
<b>33</b>	Hauptanschluß
<b>33a</b>	Endabstellung
<b>33b</b>	Nebenschlussfeld
<b>33f</b>	zweite, kleinere Drehzahlstufe
<b>33g</b>	dritte, kleinere Drehzahlstufe
<b>33h</b>	vierte, kleinere Drehzahlstufe
<b>33L</b>	Drehrichtung links
<b>33R</b>	Drehrichtung rechts
<b>45</b>	getrenntes Startrelais Ausgang, Starter Eingang
<b>48</b>	Starter / Startwiederholrelais: Überwachung des Startens
<b>49</b>	Blinkgeber Eingang

<b>49a</b>	Ausgang
<b>49b</b>	Ausgang 2. Blinkkreis
<b>49c</b>	Ausgang 3. Blinkkreis
<b>C</b>	1. Kontrolllampe
<b>C0</b>	Hauptanschluß für vom Blink- geber getrennte Kontrolle
<b>C1</b>	2. Kontrolllampe (Anhänger)
<b>C3</b>	3. Kontrolllampe (2. Anhäng.)
<b>L</b>	Blinkeuchten links
<b>R</b>	Blinkeuchten rechts
<b>50</b>	Startersteuerung (direkt)
<b>50a</b>	Batterie Umschaltrelais: Ausgang für Startersteuerung
<b>50e</b>	Startsperrrelais Eingang
<b>50f</b>	Startsperrrelais Ausgang
<b>50g</b>	Startwiederholrelais Eingang
<b>50h</b>	Startwiederholrelais Ausgang
	Wechselstromgenerator:
<b>51</b>	Gleichspannung am Gleichrichter
<b>51e</b>	Gleichspannung am Gleichr. mit Drossel (für Tagfahrt)
<b>53</b>	Wischermotor Eingang (Plus)
<b>53a</b>	Wischer (Plus) Endabstellung
<b>53b</b>	Wi. Nebenschlusswicklung
<b>53c</b>	Scheibenspülerpumpe
<b>53e</b>	Wischer Bremswicklung
<b>53i</b>	Anschluss dritte Bürste (für höhere Geschwindigkeit)
	Anhängersignale:
<b>54</b>	Bremslicht (Steckvorricht., Leuchtenkombination)
<b>54g</b>	elektromagn. Druckluftventil (Dauerbremse Anhänger)
<b>55</b>	Nebelscheinwerfer
<b>56</b>	Scheinwerferlicht (Lichtschalter – Abblendsch.)
<b>56a</b>	Fernlicht, Fernlichtkontrolle
<b>56b</b>	Abblendlicht
<b>56d</b>	Lichthupenkontakt
<b>57</b>	Standlicht (Krafträder)
<b>57a</b>	Parklicht

<b>57L</b>	Parklicht links
<b>57R</b>	Parklicht rechts
<b>58</b>	Begrenzungs-, Kennzeichen-, Schluß-,Instrumentenleuchten
<b>58L</b>	Schluß- und Begrenzungsleuchte links
<b>58R</b>	Schluß-, Begrenzungsleuchte rechts, Kennzeichenleuchte
<b>58d</b>	regelbare Instrumentenbeleuchtung
	Wechselstromgenerator: (Magnetzünder-Generator)
<b>59</b>	Ausgang Wechselspannung Eingang Gleichrichter
<b>59a</b>	Ausgang Ladeanker
<b>59b</b>	Ausgang Schlusslichtanker
<b>59c</b>	Ausgang Bremslichtanker
<b>61</b>	Generatorkontrolle
	Generator, Generatorregler:
<b>B+</b>	Batterie Plus
<b>B-</b>	Batterie Minus
<b>D+</b>	Dynamo Plus
<b>D-</b>	Dynamo Minus
<b>DF</b>	Dynamo, Feld
<b>DF1</b>	Dynamo, Feld 1
<b>DF2</b>	Dynamo, Feld 2
<b>U,V,W</b>	Drehstromklemmen (Drehstromgenerator)
<b>71</b>	Tonfolgeschaltgerät Eingang
<b>71a</b>	Ausgang Horn 1 und 2 tief
<b>71b</b>	Ausgang Horn 1 und 2 hoch
<b>72</b>	Alarmschalter (Rundumkennleuchte)
<b>75</b>	Radio, Zigarettenanzünder
	Relais:
<b>85</b>	Triebsystem Ausgang (Wicklungsende)
<b>86</b>	Triebsystem Eingang (Wicklungsanfang)
<b>87</b>	Eingang Öffner und Wechsler
<b>87a</b>	Ausgang Öffner und Wechsler (Öffnerseite)
<b>88</b>	Eingang bei Schließer
<b>88a</b>	Ausgang bei Schließer und Wechsler (Schließerseite)

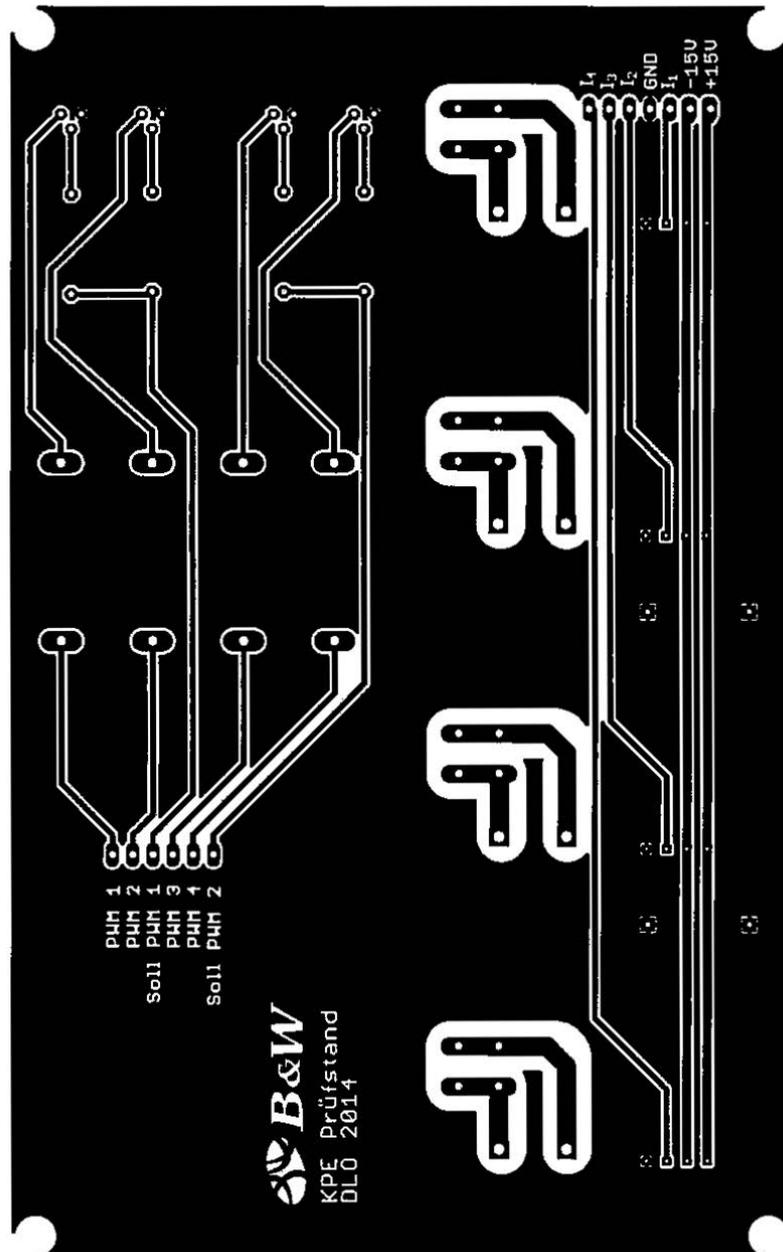


# Anhang B:

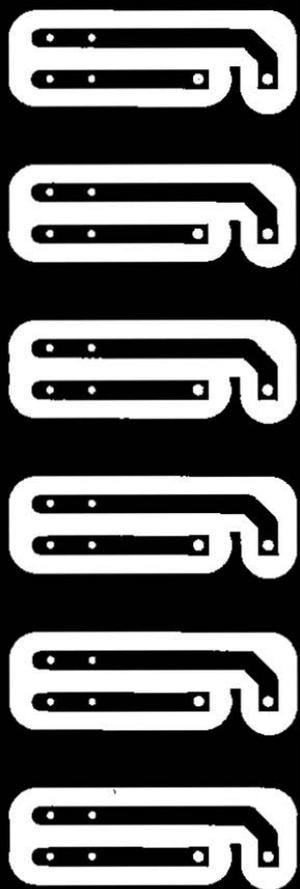




Anhang C:



**B&W**  
KPE Prüfstand  
DLO 2014



# Anhang D:

ASCII-Tabelle DIN 66003

Nr.	Bin	Okt	Dez	Hex	Zeichen	Nr.	Bin	Okt	Dez	Hex	Zeichen
0	0000 0000	000	000	00	Nul	64	0100 0000	100	064	40	Ž
1	0000 0001	001	001	01	SOH	65	0100 0001	101	065	41	A
2	0000 0010	002	002	02	STX	66	0100 0010	102	066	42	B
3	0000 0011	003	003	03	ETX	67	0100 0011	103	067	43	C
4	0000 0100	004	004	04	EOT	68	0100 0100	104	068	44	D
5	0000 0101	005	005	05	ENQ	69	0100 0101	105	069	45	E
6	0000 0110	006	006	06	ACK	70	0100 0110	106	070	46	F
7	0000 0111	007	007	07	BEL	71	0100 0111	107	071	47	G
8	0000 1000	010	008	08	BS	72	0100 1000	110	072	48	H
9	0000 1001	011	009	09	HAT	73	0100 1001	111	073	49	I
10	0000 1010	012	010	0a	LF	74	0100 1010	112	074	4a	J
11	0000 1011	013	011	0b	VT	75	0100 1011	113	075	4b	K
12	0000 1100	014	012	0c	FF	76	0100 1100	114	076	4c	L
13	0000 1101	015	013	0d	CR	77	0100 1101	115	077	4d	M
14	0000 1110	016	014	0e	SO	78	0100 1110	116	078	4e	N
15	0000 1111	017	015	0f	SIX	79	0100 1111	117	079	4f	O
16	0001 0000	020	016	10	DLE	80	0101 0000	120	080	50	P
17	0001 0001	021	017	11	DC1	81	0101 0001	121	081	51	Q
18	0001 0010	022	018	12	DC2	82	0101 0010	122	082	52	R
19	0001 0011	023	019	13	DC3	83	0101 0011	123	083	53	S
20	0001 0100	024	020	14	DC4	84	0101 0100	124	084	54	T
21	0001 0101	025	021	15	NAK	85	0101 0101	125	085	55	U
22	0001 0110	026	022	16	SYN	86	0101 0110	126	086	56	V
23	0001 0111	027	023	17	ETB	87	0101 0111	127	087	57	W
24	0001 1000	030	024	18	CAN	88	0101 1000	130	088	58	X
25	0001 1001	031	025	19	EM	89	0101 1001	131	089	59	Y
26	0001 1010	032	026	1a	SUB	90	0101 1010	132	090	5a	Z
27	0001 1011	033	027	1b	ESC	91	0101 1011	133	091	5b	Ä
28	0001 1100	034	028	1c	FS	92	0101 1100	134	092	5c	Ö
29	0001 1101	035	029	1d	GS	93	0101 1101	135	093	5d	Ü
30	0001 1110	036	030	1e	RS	94	0101 1110	136	094	5e	^
31	0001 1111	037	031	1f	US2	95	0101 1111	137	095	5f	_
32	0010 0000	040	032	20	SPACE	96	0110 0000	140	096	60	`
33	0010 0001	041	033	21	!	97	0110 0001	141	097	61	a
34	0010 0010	042	034	22	"	98	0110 0010	142	098	62	b
35	0010 0011	043	035	23	#	99	0110 0011	143	099	63	c
36	0010 0100	044	036	24	\$	100	0110 0100	144	100	64	d
37	0010 0101	045	037	25	%	101	0110 0101	145	101	65	e
38	0010 0110	046	038	26	&	102	0110 0110	146	102	66	f
39	0010 0111	047	039	27	'	103	0110 0111	147	103	67	g
40	0010 1000	050	040	28	(	104	0110 1000	150	104	68	h
41	0010 1001	051	041	29	)	105	0110 1001	151	105	69	i
42	0010 1010	052	042	2a	*	106	0110 1010	152	106	6a	j
43	0010 1011	053	043	2b	+	107	0110 1011	153	107	6b	k
44	0010 1100	054	044	2c	,	108	0110 1100	154	108	6c	l
45	0010 1101	055	045	2d	-	109	0110 1101	155	109	6d	m
46	0010 1110	056	046	2e	.	110	0110 1110	156	110	6e	n
47	0010 1111	057	047	2f	□	111	0110 1111	157	111	6f	o
48	0011 0000	060	048	30	0	112	0111 0000	160	112	70	p
49	0011 0001	061	049	31	1	113	0111 0001	161	113	71	q
50	0011 0010	062	050	32	2	114	0111 0010	162	114	72	r
51	0011 0011	063	051	33	3	115	0111 0011	163	115	73	s
52	0011 0100	064	052	34	4	116	0111 0100	164	116	74	t
53	0011 0101	065	053	35	5	117	0111 0101	165	117	75	u
54	0011 0110	066	054	36	6	118	0111 0110	166	118	76	v
55	0011 0111	067	055	37	7	119	0111 0111	167	119	77	w
56	0011 1000	070	056	38	8	120	0111 1000	170	120	78	x
57	0011 1001	071	057	39	9	121	0111 1001	171	121	79	y
58	0011 1010	072	058	3a	:	122	0111 1010	172	122	7a	z
59	0011 1011	073	059	3b	;	123	0111 1011	173	123	7b	ä
60	0011 1100	074	060	3c	<	124	0111 1100	174	124	7c	ö
61	0011 1101	075	061	3d	=	125	0111 1101	175	125	7d	ü
62	0011 1110	076	062	3e	>	126	0111 1110	176	126	7e	ß
63	0011 1111	077	063	3f	?	127	0111 1111	177	127	7f	DEL

4.2.1 Sollwert eingeben

- Drücken Sie auf den entsprechenden Sollwert → Abb. 4-1 (Seite 29), Pos. C.

Es erscheint folgendes Menü:

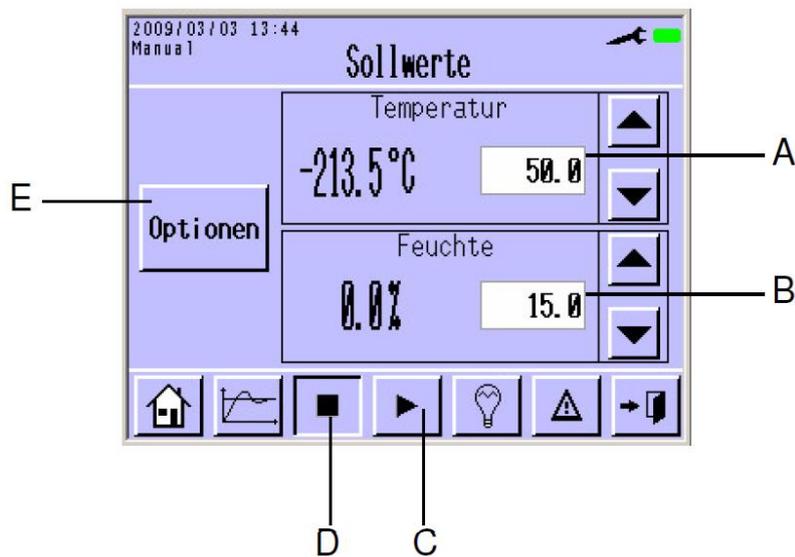


Abb. 4-3  
Sollwerte

- A Sollwert Temperatur
- B Sollwert Feuchte<sup>2)</sup>
- C Test starten → 4.2.3 (Seite 32)
- D Test beenden → 4.2.4 (Seite 32)
- E Optionen → 4.3 (Seite 33)

- Drücken Sie auf den entsprechenden Sollwert → Abb. 4-3 , Pos. A / B.

Das Eingabemenü erscheint.

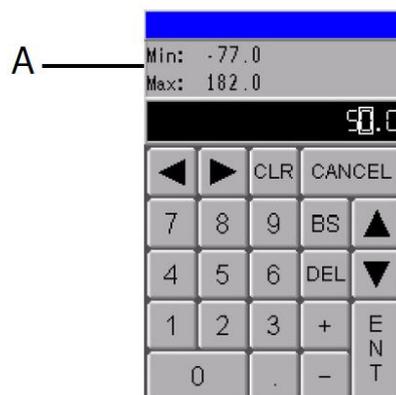


Abb. 4-4  
Sollwert eingeben

- A Eingabegrenzen für Sollwert  
oben: minimal einzustellender Wert, unten: maximal einzustellender Wert
- Geben Sie den neuen Wert ein und bestätigen Sie die Eingabe mit