

DIPLOMARBEIT

Konstruktion, Aufbau und Inbetriebnahme eines Prüfstandes für Dosiersysteme

Diplomand:
Jens Becker
Matr.-Nr.: 7034623

Betreuer Firma Purem:
Dr. rer. nat., Dipl.-Chem. B. Maurer
Betreuer FH Dortmund:
Prof. Dr.-Ing. U. Hilger

Erklärung

Hiermit erkläre ich entsprechend § 26 Abs. 1 der DPO vom 14. Februar 1997 an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe angefertigt, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Dortmund, 6. Mai 2005

Jens Becker

Matrikel-Nr.: 7034623

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Systeme zur Emissionsminderung	2
	2.1 Innermotorische Maßnahmen.....	2
	2.2 Nachmotorische Maßnahmen	3
	2.2.1 SCR	4
	2.2.2 CRT mit Sintermetallfilter	7
	2.2.3 Kombinationsystem PNC	9
	2.2.4 NO _x -Speicher-Katalysator	10
3	SCR-System	11
	3.1 Anforderungen an die Systemkomponenten	12
4	Prüfstand für Dosiereinheiten	15
	4.1 Konstruktiver Aufbau	15
	4.2 Komponenten und ihre Funktionen	17
	4.3 Technische Realisation	27
5	Prüfstandssteuerung und Datenerfassung	31
	5.1 Prüfstandssteuerung mit Labview	31
	5.2 Prüfungsablauf	36
	5.3 Datenerfassung und Datenverarbeitung.....	38
6	System-FMEA für den Prüfstand	41
	6.1 FMEA bezogen auf den Prüfstand	44
	6.2 Ergebnisse der FMEA	44
7	Vergleich des neuen Prüfstands mit einem bestehenden	46
	7.1 Vergleich der Messgenauigkeit	48
	7.2 Möglichkeiten zur Verbesserung	50
8	Zusammenfassung	52
9	Literaturverzeichnis	54
10	Anhang	56

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1	Verfahren zur Emissionsminderung.....	2
Abb. 2-2	Entwicklung der Abgasgrenzwerte.....	4
Abb. 2-3	Entstehung von NH ₃ aus HWL.....	5
Abb. 2-4	SCR-System.....	7
Abb. 2-5	Umsetzung der Schadstoffe nach dem Prinzip der CRT.....	8
Abb. 2-6	Herstellungsprozess eines Sintermetallfilters.....	9
Abb. 2-7	Darstellung des PNC-Systems im Schnitt.....	9
Abb. 2-8	Prinzip des NO _x -Speicher-Katalysators.....	10
Abb. 3-1	HWL-Tank.....	14
Abb. 3-2	HWL-Versorgungseinheit.....	14
Abb. 3-3	HWL-Dosiereinheit.....	14
Abb. 3-4	Katalysator mit Schalldämpfer.....	14
Abb. 4-1	Front des Prüfstandes.....	16
Abb. 4-2	Rückseite des Prüfstandes.....	16
Abb. 4-3	Schnittansicht durch eine Dosiereinheit.....	17
Abb. 4-4	Messschrieb des PI-Reglers.....	21
Abb. 4-5	Regelkreis.....	22
Abb. 4-6	Coriolis-Messprinzip.....	23
Abb. 4-7	Dosiereinheit.....	26
Abb. 4-8	Luftvolumestrommessgerät.....	26
Abb. 4-9	PI-Regler.....	26
Abb. 4-10	Massenstromzähler.....	26
Abb. 4-11	Referenzdrucksensor.....	26
Abb. 4-12	Druckluftwächter.....	26
Abb. 4-13	Gesamtansicht der Schnellspanvorrichtung.....	27
Abb. 4-14	Konstruktionszeichnung Schnellspanvorrichtung.....	28
Abb. 4-15	Andruckstutzen am HWL-Eingang der Dosiereinheit.....	29
Abb. 5-1	Frontpanel des Prüfstandprogramms.....	32
Abb. 5-2	Übersicht Blockdiagramm des Prüfstandprogramms.....	33
Abb. 5-3	Meldungen im Frontpanel.....	35
Abb. 5-4	Daten- und Steuerpfade des Prüfstandes.....	39
Abb. 7-1	Laborprüfstand.....	46
Abb. 7-2	Ermittelte Testmedium-Durchsätze des mobilen Prüfstandes.....	50

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1	Stufen der Abgasgrenzwerte der Europäischen Union	4
Tab. 6-1	Kriterien für Bewertungszahlen der System-FMEA Produkt/Prozess	43
Tab. 7-1	Unterschiede der Prüfstände	48
Tab. 7-2	Messdaten des mobilen und des Laborprüfstands	48

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
AC	<u>A</u> lternating <u>C</u> urrent
ATL	<u>A</u> bgas <u>t</u> urbo <u>l</u> ader
BNC	<u>B</u> ajonet <u>N</u> avy <u>C</u> onnecto <u>r</u>
CRT	<u>C</u> ontinously <u>R</u> egenerati <u>o</u> ning <u>T</u> rap
DC	<u>D</u> irect <u>C</u> urrent
DE	<u>D</u> osiere <u>e</u> inheit
EDV	<u>E</u> lektronische <u>D</u> aten <u>V</u> erarbeitung
FMEA	<u>F</u> ehler <u>m</u> öglichkeiten- <u>E</u> influß <u>a</u> lysis
HWL	<u>H</u> arnstoff- <u>W</u> asser- <u>L</u> ösung
Lkw	<u>L</u> ast <u>k</u> raft <u>w</u> agen
NLK	<u>N</u> eben <u>l</u> uft <u>k</u> reis
NO _x	Stickoxide
PCMCIA	<u>P</u> ersonal <u>C</u> omputer <u>M</u> emory <u>C</u> ard <u>I</u> nternational
Pkw	<u>P</u> ersonen <u>k</u> raft <u>w</u> agen
PM	<u>P</u> artikel <u>m</u> asse oder <u>P</u> owder <u>m</u> atter
PMF	<u>P</u> owder <u>m</u> etal <u>f</u> ilter
PNC	<u>P</u> urem <u>N</u> O _x <u>C</u> leaner
SCR	<u>S</u> elective <u>C</u> atalytic <u>R</u> eduction
VDA	<u>V</u> erband <u>d</u> er <u>A</u> utomobilbauer
VE	<u>V</u> ersorgung <u>e</u> inheit
VI	<u>V</u> irtuelles <u>I</u> nstrument
PI-Regler	<u>P</u> roportional- <u>I</u> ntegral-Regler
CAD	<u>C</u> omputer <u>a</u> ided <u>d</u> esign
EDC	<u>E</u> lectronic <u>D</u> iesel <u>C</u> ontrol

1 Einleitung

Die mit der stetig wachsenden Zahl von Kraftfahrzeugen immer stärker werdende Belastung der Umwelt, besonders in den verkehrsreichen Regionen Deutschlands, verlangt nach einer baldigen Lösung. Wie sich in zahlreichen Untersuchungen der letzten Jahre gezeigt hat, gilt es besonders den Ausstoß von Rußpartikeln (PM) und Stickoxiden (NO_x) derjenigen Fahrzeuge zu senken, die durch einen Dieselmotor angetrieben werden. Besonderes Augenmerk liegt dabei beim Kraftverkehr, der mit besonders großen Abgasmengen einen wesentlichen Teil zu der Schadstoffbelastung beiträgt.

Es sind im Laufe der Motorentwicklung etliche inner- und außermotorische Maßnahmen zur Schadstoffminimierung im Abgas entwickelt worden. Die Firma Purem in Unna beschäftigt sich mit der Entwicklung von Systemen zur Abgasnachbehandlung. Das Unternehmen entwickelt, konstruiert und fertigt Abgassysteme für den Nutzfahrzeugbereich.

Die vorliegende Diplomarbeit wurde im Rahmen des Abschlusses des Diplom-Studienganges Maschinenbau an der Fachhochschule Dortmund bei Purem angefertigt.

Ziel dieser Arbeit ist die Dokumentation der Konstruktion, des Aufbaus sowie der Inbetriebnahme eines Prüfstandes für Dosiersysteme, welche zentrale Bauteile der von der Firma Purem gefertigten Abgassysteme darstellen.

Neben einer Vorstellung heute üblicher Methoden zur Schadstoffminimierung im Abgas sollen die Inbetriebnahme und eine begleitende Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA) die zentralen Schwerpunkte der Arbeit bilden. Die Bereiche der Konstruktion und des Aufbaus werden einen stärkeren Zeichnungs- und Bildercharakter haben als die beiden Themenschwerpunkte.

2 Systeme zur Emissionsminderung

Im Laufe der zunehmenden Motorisierung und der damit stetig wachsenden Belastung der Umwelt durch Schadstoffe haben sich einige Verfahren zur Minimierung dieser umweltgefährdenden Stoffe durchgesetzt. Abb. 2-1 zeigt eine Übersicht über die wichtigsten Verfahren und Möglichkeiten die heute im Automobilbereich Anwendung finden.

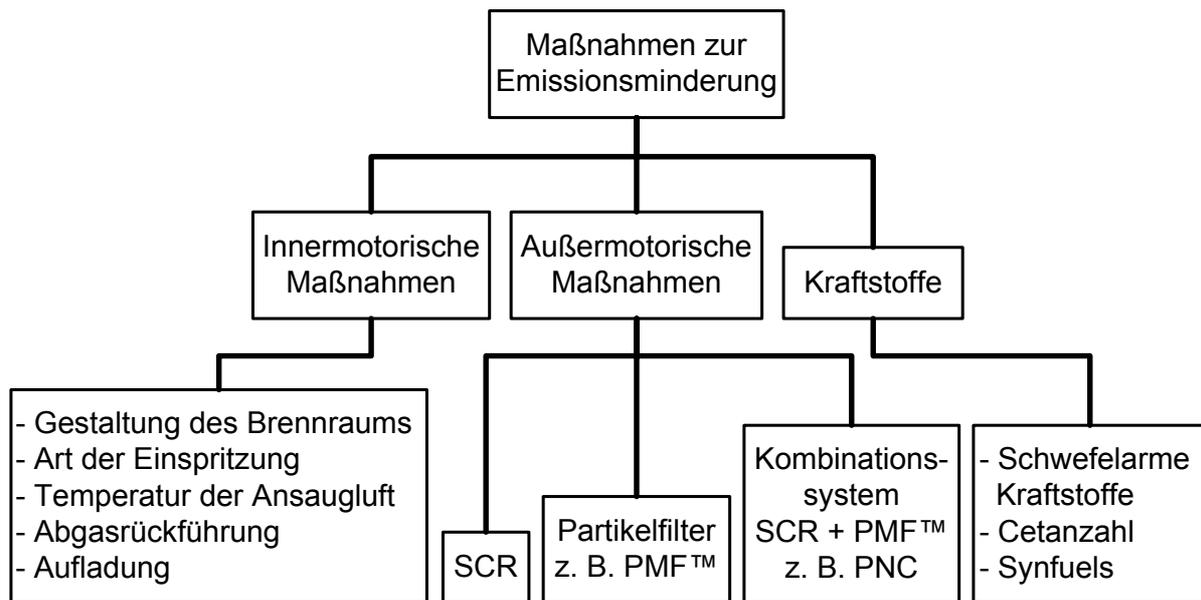


Abb. 2-1 Verfahren zur Emissionsminderung

2.1 Innermotorische Maßnahmen

Die innermotorischen Maßnahmen haben das Ziel die Verbrennung des Dieselmotorkraftstoffs so zu beeinflussen, dass die Entstehung der schädlichen Abgaskomponenten bereits im Motor verringert wird. Darüber hinaus sollen sie den Verbrauch des Motors senken und die Leistung erhöhen.

Da diese Maßnahmen aber nicht Gegenstand dieser Arbeit sind und sie außerdem ein äußerst komplexes Themengebiet darstellen, werden an dieser Stelle nur einige ausgewählte Entwicklungen aus dem Bereich der Nutzfahrzeugmotoren stichpunktartig aufgeführt. [13]

- Verbrennungssysteme mit weiten flachen Brennraummulden und niedrigem Einlassdrall zur möglichen Realisierung geringerer NO_x -Emissionen bei akzeptablem Kraftstoffverbrauch.
- Hochdruckeinspritzsysteme (mit Einspritzdrücken bis 2000 bar) mit Vielstrahldüsen zur Gewährleistung einer möglichst homogenen Kraftstoff-/Luft-Mischung.
- Vierventiltechnik zur Erhöhung des Füllgrades und zur optimalen Positionierung der Einspritzdüse zentral im Zylinder.
- Elektronische Regelung von Einspritzbeginn und Einspritzmenge zur Darstellung größtmöglicher Flexibilität und Anpassung an den jeweiligen Motorbetriebspunkt
- Neben dem selbstverständlichen Einsatz der „normalen“ Turboaufladung wird durch die Anwendung einer „High-Tech-Aufladung“ mit variabler Turbinengeometrie vor allem das dynamische Verhalten des Abgasturboladers an den jeweiligen Motorbetriebspunkt anpassbar sein. Damit können positive Auswirkungen auf das Anfahrverhalten sowie die Schwarzrauch- und NO_x - Emission im unteren und mittleren Drehzahlbereich erwartet werden.
- Längerfristig wird eine einfache Ladeluftkühlung nicht mehr ausreichend sein und durch eine Ladelufttemperierung ersetzt werden, die in Abhängigkeit des Motorbetriebszustandes kühlt oder gar aufheizt. Sinnvoll erscheint eine Aufheizung beispielsweise im unteren Teillastbereich, vor allem zur Reduzierung der Kohlenwasserstoffe (HC)- und Ölpartikelemissionen. Außerdem kann damit auch die Geräuschemission verringert werden.
- Feinoptimierung des Kolben-Ring-Rohr-Systems zur Minimierung des Ölverbrauchs und damit der Partikelemission.

2.2 Nachmotorische Maßnahmen

Wie aus der nachfolgenden Abb. 2-2 ersichtlich ist, werden künftige Abgasgrenzwerte nicht ausschließlich durch rein innermotorische Maßnahmen einzuhalten sein. Deshalb wird von der Automobilindustrie noch ein anderer Weg zur Minderung der Schadstoffe im Abgas verfolgt. Im Gegensatz zu den innermotorischen Maßnahmen,

die das Ziel haben die Entstehung der schädlichen Emissionen zu minimieren, kommen nachmotorische Verfahren für die thermische und chemische Nachbehandlung von Abgasen zur Anwendung. Mit der Abgasnachbehandlung können auch die zukünftigen, immer strenger werdenden Abgasgrenzwerte eingehalten werden.

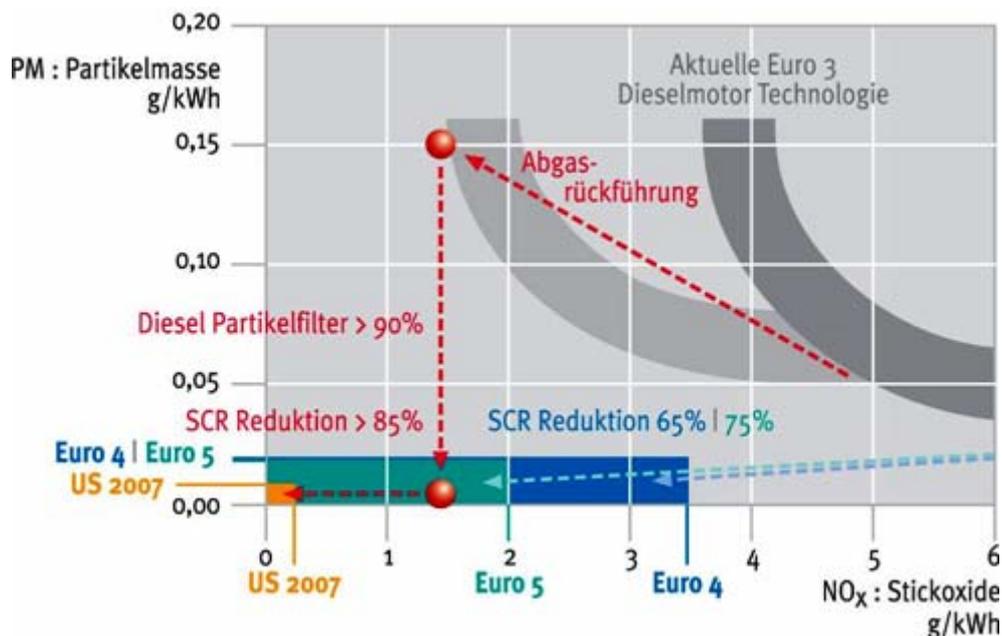


Abb. 2-2 Entwicklung der Abgasgrenzwerte

In der unteren Auflistung (Tab. 2-1) sind die Stufen der in Europa gültigen Euro-Norm I bis V. Gültig ist im Moment die Stufe EURO IV.

	EURO I Seit 1992 g/kWh	EURO II Seit 1996 g/kWh	EURO III Seit 2000 g/kWh	EURO IV Seit 2005 g/kWh	EURO V Ab 2008 g/kWh
CO	4,9	4,0	2,1	1,5	1,5
HC	1,23	1,10	0,66	0,46	0,46
NO _x	9,0	7,0	5,0	3,5	2,0
Partikel	0,40	0,15	0,10	0,02	0,02

Tab. 2-1 Stufen der Abgasgrenzwerte der Europäischen Union

2.2.1 SCR

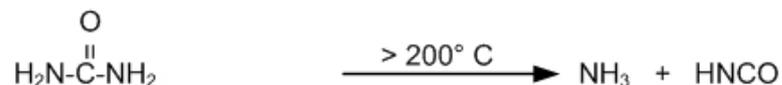
Die aus dem Englischen stammende Bezeichnung „Selective Catalytic Reduction“ (SCR) bezeichnet im Deutschen den Begriff der selektiven katalytischen Reduktion. Dieses ursprünglich aus der Kraftwerkstechnik stammende Verfahren zur Reduktion von NO_x in Verbrennungsabgasen hat sich in den letzten Jahren auch in der Auto-

mobilindustrie als eine Möglichkeit herausgestellt. Ähnlich wie aus der Ottomotor-technik bekannt finden auch hier Keramikkatalysatoren Anwendung, jedoch gibt es einen gravierenden Unterschied. Die Katalysatoren der Ottomotoren, die die NO_x -Emissionen vermindern, arbeiten nur bei Sauerstoffmangel oder bei einem genau abgestimmten stöchiometrischen Mischungsverhältnis. Dieselmotoren können aber nur mit Luftüberschuss betrieben werden. Deshalb wirken solche Katalysatoren nicht ohne weiteres bei Dieselaabgasen. Purem ist in der Forschung und Entwicklung solcher Systeme tätig und fertigt diese für die DaimlerChrysler AG.

SCR-System von Purem

Als Katalysator kommen Wabenkörper zum Einsatz, die im Wesentlichen aus Titandioxid (TiO_2), Wolframtrioxid (WO_3) und Vanadiumpentoxid (V_2O_5) bestehen. Der Katalysator ist im Schalldämpfergehäuse des Kraftfahrzeugs integriert. Im Betrieb wird eine Harnstoff-Wasserlösung (HWL, Handelsname: AdBlue[®]) in den heißen Abgasstrang eingedüst und zersetzt sich dort in einem zweistufigen Prozess (Abb. 2-3) unter Bildung des eigentlichen Reduktionsmittels Ammoniak (NH_3) und Kohlendioxid (CO_2).

(1) Thermolyse:



(2) Hydrolyse:



(3) Gesamtablauf:



Umsetzung der Stickoxide am Katalysator:



Abb. 2-3 Entstehung von NH_3 aus HWL

Die Zersetzung der HWL beginnt mit einer Thermolyse. Bei einer Thermolyse wird ein Edukt, in diesem Fall HWL, thermisch in Produkte zersetzt (hier: NH_3 und Isocyanensäure). Der folgende Prozess ist die Hydrolyse, bei welcher die zuvor in der Thermolyse abgespaltete Isocyanensäure unter Anlagerung eines Wassermoleküls in NH_3 und CO_2 umgewandelt wird. Es ergibt sich der unter (3) beschriebene Gesamttablauf. Reaktionsgleichung Nummer vier gibt die Umsetzung der Stickoxide am Katalysator an.

Das SCR- System (Abb. 2-4) besteht im Wesentlichen aus den sechs folgenden Komponenten:

- Reduktionsmitteltank
- Reduktionsmittelversorgungseinheit
- Reduktionsmitteldosiereinheit
- Druckluftsteuerung
- Eindüsung
- Katalysatorgehäuse

Das im Tank mitgeführte Reduktionsmittel wird mit Hilfe der Versorgungseinheit angesaugt und mit einem Druck von ca. 5000 mbar zu der als Motoranbauteil konzipierten Dosiereinheit gepumpt. In der Dosiereinheit erfolgt die exakte Dosierung mit Hilfe eines Dosierventils.

Um die HWL möglichst vollständig und ohne Verzögerung der hinter der Drosselklappe angebrachten Düse zuzuführen, wird die Flüssigkeit in einen kontinuierlichen Luftstrom dosiert. Die hierfür erforderliche Luft wird über ein 3-/2-Wegemagnetventil dem Druckluftnetz des Fahrzeugs entnommen und durch ein Druckminderventil auf einen konstanten Wert von max. 23 l/min eingestellt. Druckminderventil und 3-/2-Wegemagnetventil werden als Druckluftsteuerung bezeichnet. Zur Erhöhung der Dosiergenauigkeit sind an der Dosiereinheit zwei Drucksensoren zur Erfassung der Druckdifferenz über dem Dosierventil und ein Temperatursensor zur Erfassung der HWL-Temperatur angebracht.

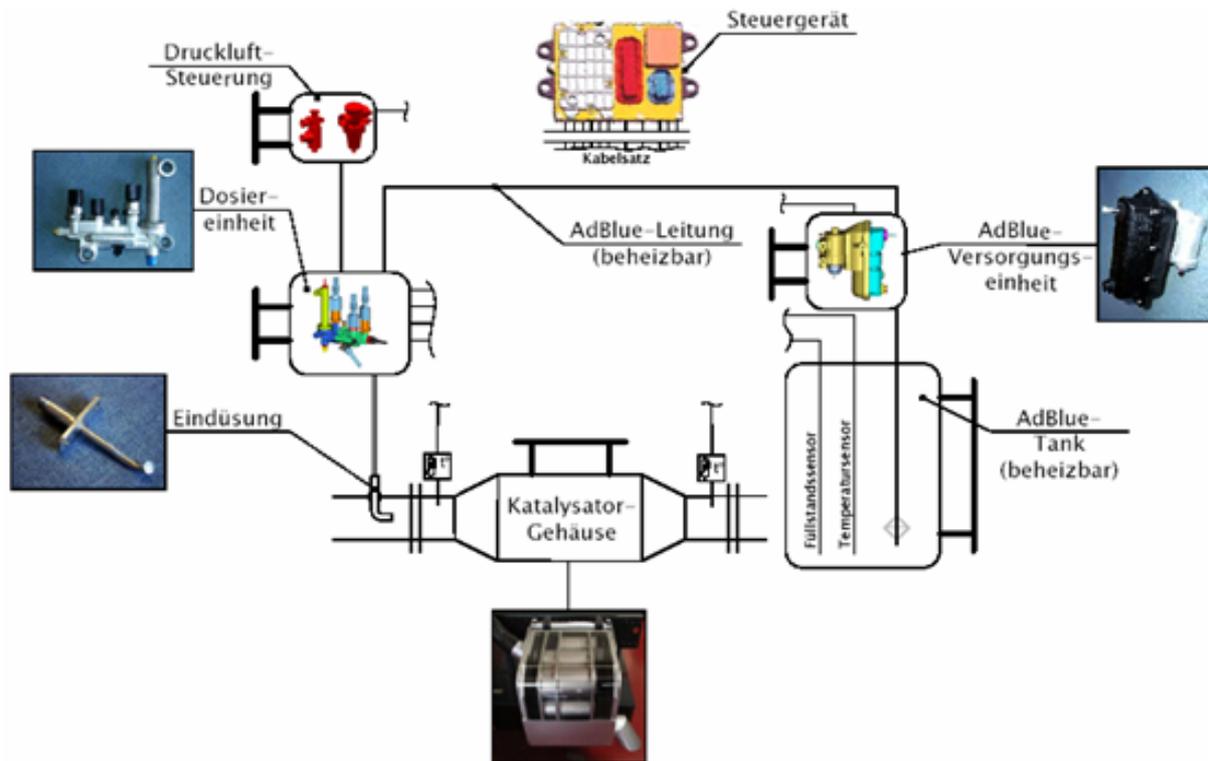


Abb. 2-4 SCR-System

Das durch die Eindüsung in den Abgasstrang gelangende Reduktionsmittel zersetzt sich unter Bildung von Ammoniak und Kohlendioxid, so dass die unerwünschten Stickoxide gemäß Reaktionsgleichung (4) auf der vorangegangenen Seite umgesetzt werden. Die zum Betrieb und zur Diagnose des Systems erforderliche Software ist im Motorsteuergerät integriert.

Im Winterbetrieb kommt es bei Temperaturen unter -11 °C zum Gefrieren der HWL. Um unter diesen Bedingungen dennoch den Betrieb des Systems zu gewährleisten, werden die HWL-führenden Leitungen entweder elektrisch oder mittels Kühlwasser beheizt. In diesen Leitungskreislauf wird die Reduktionsmittelversorgungseinheit integriert. Zur Vermeidung von Frostschäden in der Dosiereinheit, z. B. an den Sensoren oder dem Dosierventil, wird diese nach dem Abstellen des Motors belüftet.

2.2.2 CRT mit Sintermetallfilter

Bei der Continuously Regenerating Trap (CRT) handelt es sich um ein System, bestehend aus einem Oxidationskatalysator und einem nach gelagerten Filter. Zunächst werden im Oxidationskatalysator Kohlenwasserstoffe (HC) und Kohlenstoffmonooxide (CO) mittels des in den Verbrennungsabgasen enthaltenen Sauerstoffs

(O₂) zu Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Wasser (H₂O) oxidiert (Abb. 2-5) [13]. Das in den Verbrennungsabgasen enthaltene Stickstoffmonooxid wird ebenfalls durch die Anlagerung eines Sauerstoffatoms zu Stickstoffdioxid (NO₂) oxidiert.

Das nun gewonnene Stickstoffdioxid dient im nachgelagerten Filter der Umsetzung der Rußpartikel (C). Das Stickstoffdioxid wird wieder zu Stickstoffmonooxid reduziert, die Kohlenstoffatome des Rußes oxidieren zu Kohlenstoffdioxid.

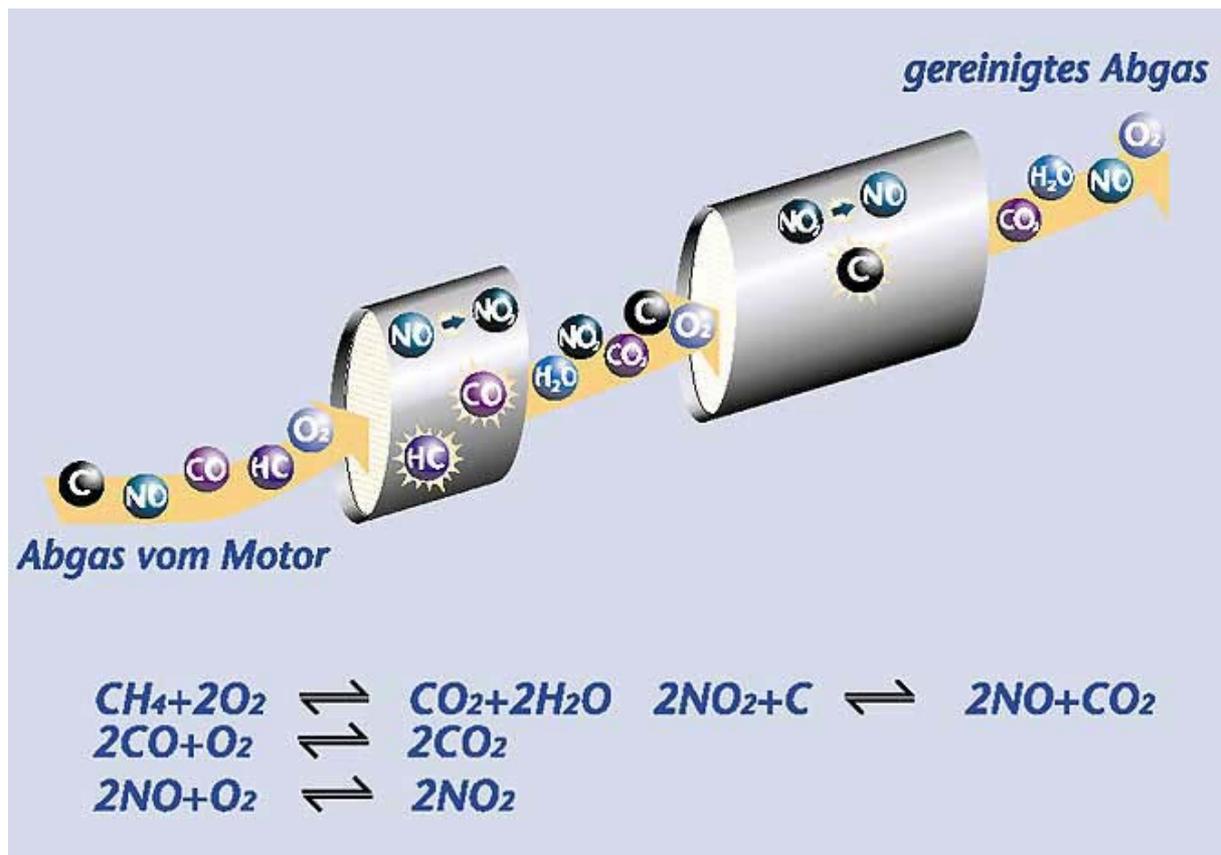


Abb. 2-5 Umsetzung der Schadstoffe nach dem Prinzip der CRT

In der Abbildung (Abb. 2-5) besteht der Partikelfilter aus einem keramischen Wabenkörper. Es besteht aber auch die Möglichkeit anstelle eines solchen keramischen Filters einen so genannten Sintermetallfilter einzusetzen.

Bei der Herstellung dieses Filtertyps werden Drahtgewebematten durch Schneiden, Stanzen und Prägen in die gewünschte Endform gebracht und anschließend abwechselnd an der Außen- und Innenkontur zusammengeschweißt, um aneinanderhängende Taschen zu bilden. Daraus entsteht dann ein faltenbalgartiger Filter, der einen grundsätzlich anderen Aufbau hat als ein Partikelfilter aus Keramik in monolithischer Form. Aus Abb. 2-6 erkennt man den Ablauf des Herstellungsprozesses eines Sintermetallfilters.

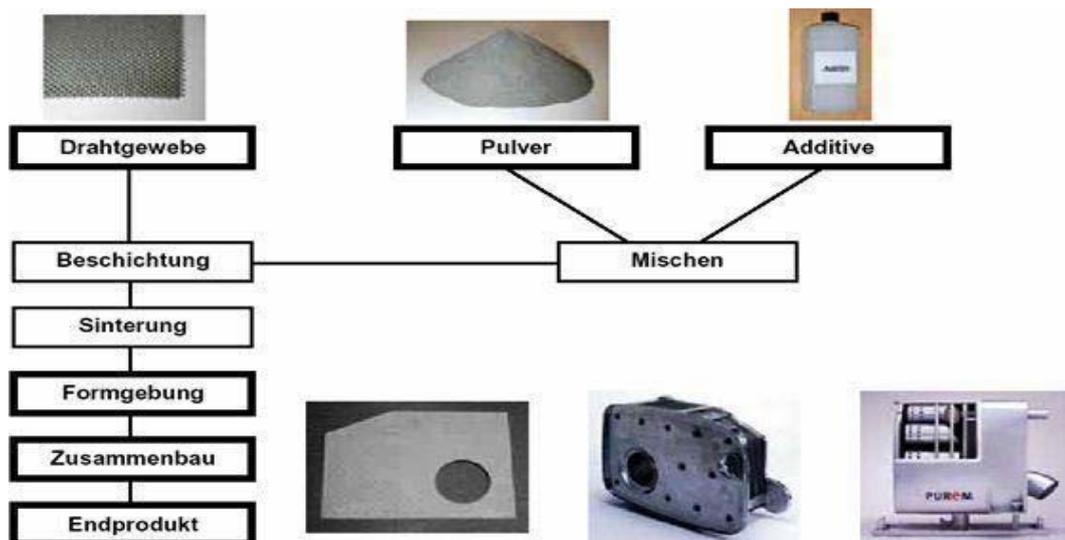


Abb. 2-6 Herstellungsprozess eines Sintermetallfilters

2.2.3 Kombinationsystem PNC

Die Abkürzung PNC setzt sich zusammen aus Particle-NO_x-Cleaner. Dieses System von Purem vereinigt einen Partikelfilter nach dem CRT-Prinzip mit einem Denoxierungssystem das nach dem bekannten SCR-Verfahren arbeitet. In Abb. 2-7 ist zu erkennen, dass der Partikelfilter, der Oxidationskatalysator, das SCR-System sowie die Schalldämmung in einem Gehäuse Platz finden. Mit diesem System hofft man, auch zukünftigen noch strengeren Abgasnormen gerecht zu werden.

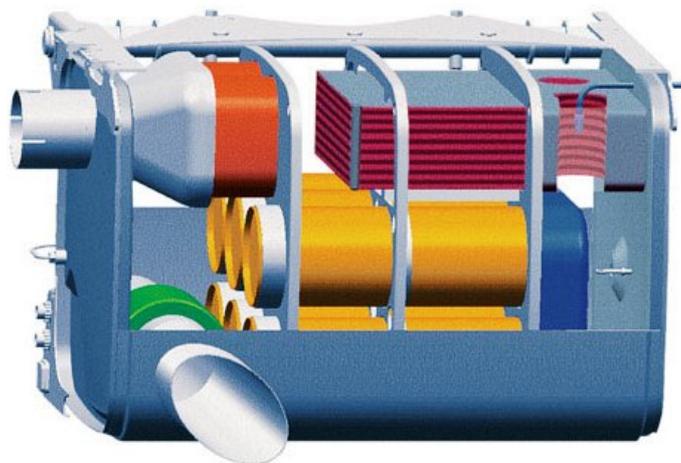


Abb. 2-7 Darstellung des PNC-Systems im Schnitt

2.2.4 NO_x-Speicher-Katalysator

Abb. 2-8 [13] zeigt ein NO_x-Speichersystem, welches eine weitere Möglichkeit darstellt, um die Schadstoffe in Dieselabgasen zu reduzieren. Dieses diskontinuierlich oder auch intermittierend arbeitende System, zeichnet sich durch eine Speicherfähigkeit des NO_x im überstöchiometrischen ($\lambda > 1$) Motorbetrieb aus. Das gespeicherte NO_x wird in unterstöchiometrischen Betriebsphasen des Motors umgesetzt. Als Speichermaterial kommen dabei Alkalien- und Erdalkalienoxide in Betracht (z. B.: Barium). Ist der Vorrat an „Speicher-Oxiden“ aufgebraucht, so muss der Motor kurzzeitig mit fettem Gemisch betrieben werden, um den Speicher zu regenerieren.

Weitere Eigenheiten sind:

- Für den Wechsel zwischen fettem und magerem Gemisch bedarf es einer programmieraufwändigen Motorsteuerung.
- Ein schwefelarmer Kraftstoff ist notwendig. Ansonsten besteht die Gefahr, dass sich Nitrate und Sulfate bilden, die den Katalysator schädigen können.
- Die thermische Beständigkeit der Absorber-Katalysatoren muss gesteigert werden (heutige Grenze ca. 850 °C).
- Es besteht die Möglichkeit, dass sich bei der Umsetzung giftiger Schwefelwasserstoff bildet.

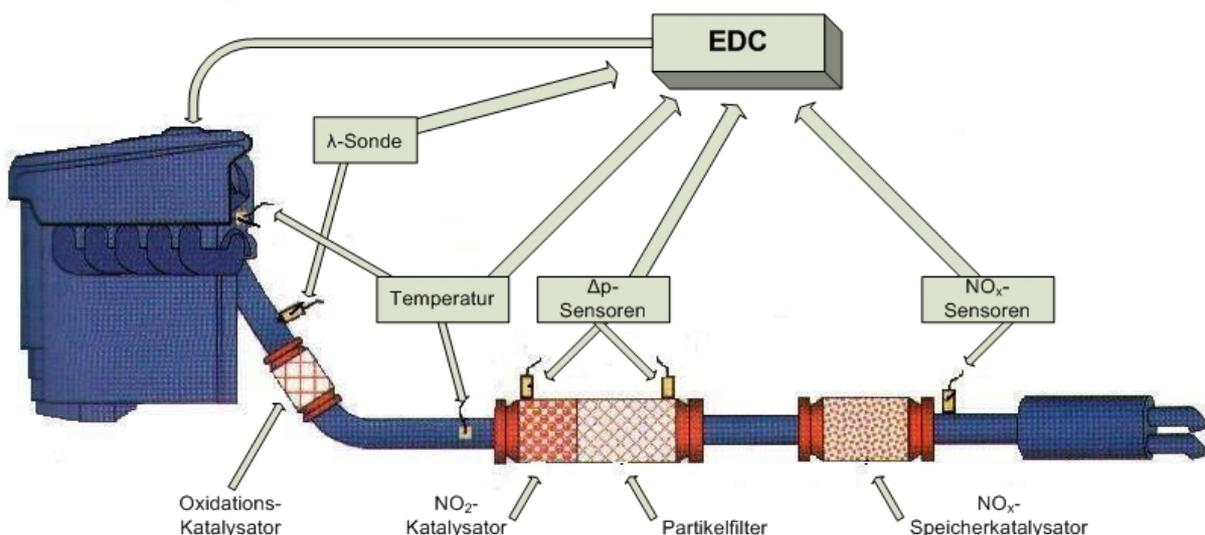


Abb. 2-8 Prinzip des NO_x-Speicher-Katalysators

3 SCR-System

Das SCR-System von Purem wurde in Zusammenarbeit mit dem Kunden entwickelt und getestet. Desweiteren betreibt Purem einen eigenen Fuhrpark an Versuchsfahrzeugen. In Winter- und Sommererprobungen werden die Systeme auch unter „harten“ Umweltbedingungen getestet, um ein möglichst breites Spektrum an Erfahrungen sammeln zu können. Diese Erfahrungen fließen in die Produktentwicklung ein.

In einem Feldversuch mit einer namhaften Spedition werden die Systeme in mehreren Fahrzeugen den realen Belastungen des Alltags ausgesetzt. Die DaimlerChrysler AG bietet das System seit Januar 2005 in ihren Fahrzeugen an.

Die Entwicklungsschwerpunkte lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- SCR- Katalysator (Aktivität, Alterung)
 - ▶ Katalysator- Screening:
 - NO_x – Umsatz in Abhängigkeit von der Temperatur im Neuzustand des Katalysators
 - NO_x – Umsatz in Abhängigkeit von der Temperatur nach Katalysatoralterung bis zu 10.000 h

- Dosiereinheit
 - ▶ Aktorik/Sensorik
 - ▶ Dosiergenauigkeit
 - ▶ Frostfestigkeit
 - ▶ Verstopfung
 - ▶ Softwarefunktion

- Erprobung
 - ▶ Laborerprobung (Funktion/Dauerlauf)
 - ▶ Fahrzeugerprobung
 - ▶ Begleitung Winter-/Sommererprobung

3.1 Anforderungen an die Systemkomponenten

Um den Anforderungen im Nutzfahrzeugbereich gerecht zu werden, müssen die Systeme höchste Ansprüche erfüllen. Im Folgenden werden einige nötige Anforderungen an die Komponenten der Abgasnachbehandlung aufgelistet.

Die Bilder der Systemkomponenten befinden sich im Anschluss dieses Kapitels.

1. HWL-Versorgungstank

Der Tank (Abb. 3-1) dient der Bevorratung des Reduktionsmittels, er wird außen am Fahrzeugrahmen positioniert und ist auf Grund seiner Masse besonderen Belastungen ausgesetzt.

Gefordert wird unter anderem:

- Frostfestigkeit bis -40 °C (Ausdehnung beim Einfrieren, Eisblockbildung und Auftauvorgang)
- Beheizbar
- Korrosionsbeständigkeit gegenüber der HWL
- Beständigkeit gegenüber Steinschlag und Hochdruckreinigung
- Dichtheit zur Vermeidung einer möglichen Geruchsbelästigung durch NH_3
- Tolerant gegen Harnstoffauskristallisation und Kriechverhalten der HWL
- Einbindung einer Füllstandsanzeige im Armaturenbrett des Fahrzeuges
- Einfache Betankung

2. Versorgungseinheit

Die Versorgungseinheit (Abb. 3-2) stellt die Versorgung der Dosiereinheit mit HWL sicher. Bei diesem Pumpentyp handelt es sich um eine Membranpumpe.

Gefordert wird unter anderem:

- Verhinderung des Trockenlaufs der Pumpe bei noch nicht aufgetautem oder fehlendem AdBlue®
- Lebensdauer 20.000 h oder 1.000.000 km

- Elektrische und pneumatische Ansteuerung der Versorgungseinheit

3. Dosiereinheit

Mittels eines ansteuerbaren Ventils und einer Druckluftunterstützung erzeugt die HWL-Dosiereinheit (Abb. 3-3) ein feines Aerosol, welches dann über eine Düse in den Abgasstrang hinter der Drosselklappe und vor dem SCR-Katalysator eingedüst wird.

Gefordert wird unter anderem:

- Dosiergenauigkeit $\pm 5\%$
- Dosierdruck $\Delta p = 3000 \text{ mbar}$
- Motorseitige Montage
- Dosierung erfolgt selbsttätig durch Motorsteuerung
- Tolerierte Abweichung des Luftvolumenstroms: $\pm 3 \text{ l/min}$ von $22,0 \text{ l/min}$

4. Katalysator mit Schalldämpfer

Im Katalysator (Abb. 3-4) erfolgt die Reduktion der im Abgas enthaltenen Stickoxide. Der Schalldämpfer ist ebenfalls im Gehäuse untergebracht. Das Gehäuse wird an der Stelle platziert, wo bei heutigen Lkws der Schalldämpfer sitzt.

Gefordert wird unter anderem:

- Vermeidung von Geruchsbelästigung durch NH_3 -Schlupf, Harnstoffausblühung und Abgasspuren
- Schwallwasserfestigkeit
- Bedingt wafähig
- Wartungsfreiheit während der definierten Lebensdauer



Abb. 3-1 HWL-Tank



Abb. 3-2 HWL-Versorgungseinheit



Abb. 3-3 HWL-Dosiereinheit

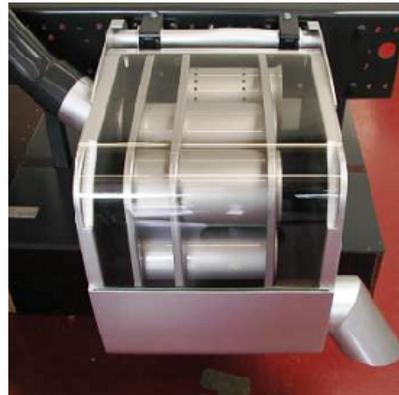


Abb. 3-4 Katalysator mit Schalldämpfer

4 Prüfstand für Dosiereinheiten

Purem benötigt für die Überwachung und der Sicherstellung der Qualität ihrer Systemkomponenten die notwendigen Prüfeinrichtungen und Teststände. Thema dieser Diplomarbeit ist es, einen Prüfstand für die Dosiereinheiten zu entwerfen, aufzubauen und diesen in Betrieb zu nehmen.

Um den Prüfstand flexibel einsetzen zu können, soll er kompakt und transportabel ausgeführt werden. Dies bedeutet auch, dass er völlig autark von jeglicher Hausnetzversorgung (Strom, Druckluft) arbeiten können soll. Darüber hinaus sollen gegenüber einem bereits bestehenden Prüfstand einige Modifikationen vorgenommen werden, um den Prüfablauf zu beschleunigen. Dazu gehört auch die halbautomatische Steuerung des Prüfstandes mit einem Personal Computer.

Der Prüfstand ermöglicht die Prüfung im 100 %-Punkt. Dies bedeutet, dass die Dosiereinheit einen optimalen Durchsatz vom 10068 g/h eines Testmediums erreicht. Zu diesem Zweck ist das Dosierventil zu 100 % geöffnet. Die Prüfung erfolgt mit bidestilliertem Wasser und nicht mit dem Reduktionsmittels HWL. Bezeichnungen wie HWL-Eingang der Dosiereinheit oder HWL-Drucksensor werden jedoch im weiteren Verlauf dieser Arbeit weiterhin verwendet.

4.1 Konstruktiver Aufbau

Da der Prüfstand sowohl im Labor als auch in einem Pkw betrieben werden soll, sind den konstruktiven Abmaßen Grenzen gesetzt. Auch darf durch die Versorgung mit den für die Prüfung einer Dosiereinheit notwendigen Betriebsmedien -Druckluft und Strom- das Bordnetz des Fahrzeuges nicht überlasten.

Der Grundrahmen des Prüfstandes besteht aus Aluminiumprofilen. Die Montageplatte für die Elektroventile der Druckluft auf der Rückseite des Prüfstandes ist aus Kunststoff gefertigt Die Bedienerfläche besteht aus Aluminiumplatten. Die Bedienfläche ist zweigeteilt, die linke Seite besteht aus einer einfachen 3 mm starken Platte und dient der Montage von Geräten, die im Blickfeld des Bedieners liegen müssen (z. B. Luftvolumenstromzähler). Die rechte Seite besteht aus zwei aufeinander geschweißten, jeweils 3 mm starken Platten. An diesen befindet sich die Schnellspannvorrichtung, welche die Anschlüsse an die zu prüfende Dosiereinheit drückt. Um Ver-

formungen der Bedienoberfläche zu verhindern, ist diese Seite besonders stabil ausgelegt.

Der Prüfstand lässt sich problemlos von zwei Personen tragen und kann im Kofferraum eines Pkw platziert werden. Befestigt und gesichert wird der Stand durch Spanngurte, die im Fahrzeug an vorhandenen Halteösen befestigt werden können.

Die elektrischen Bauteile sind in einem spritzwassersicheren Gehäuse untergebracht. Elektrische Leitungen, die in das Gehäuse herein oder heraus geführt werden, sind mit ebenfalls spritzwassersicheren Verschraubungen versehen.

Die Dosiereinheit wird in ihrer Einbaulage geprüft. Eine aufwendige Verschraubung der Versorgungsschläuche entfällt durch eine pneumatisch betätigte Schnellspannvorrichtung. Wie aus der Vorderansicht (Abb. 4-1) zu entnehmen ist, ist der Aufbau sehr übersichtlich gehalten, um eine effektive und sichere Prüfung der Dosiereinheiten zu gewährleisten. Komponenten des Prüfstandes, die für die unmittelbare Beurteilung der Dosierleistung der Dosiereinheit nicht berücksichtigt werden müssen, wurden auf der Rückseite des Prüfstandes angeordnet (Abb. 4-2).

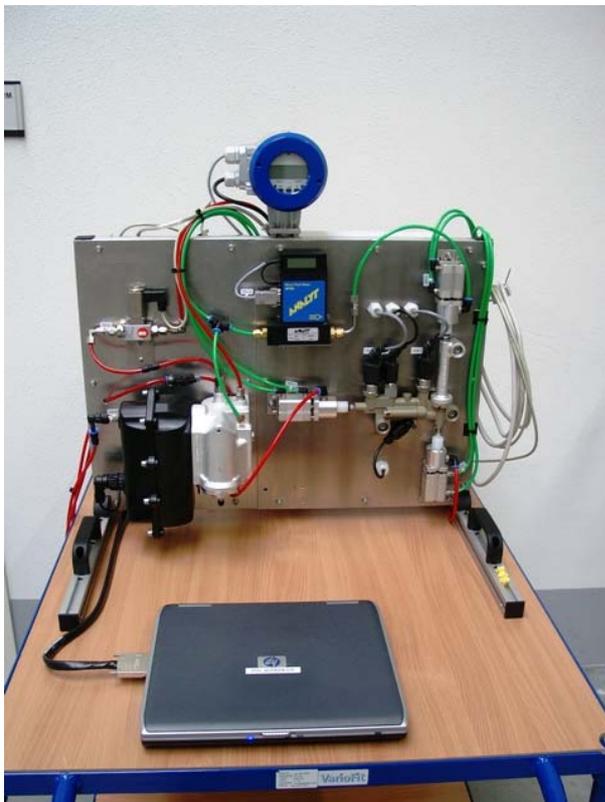


Abb. 4-1 Front des Prüfstandes

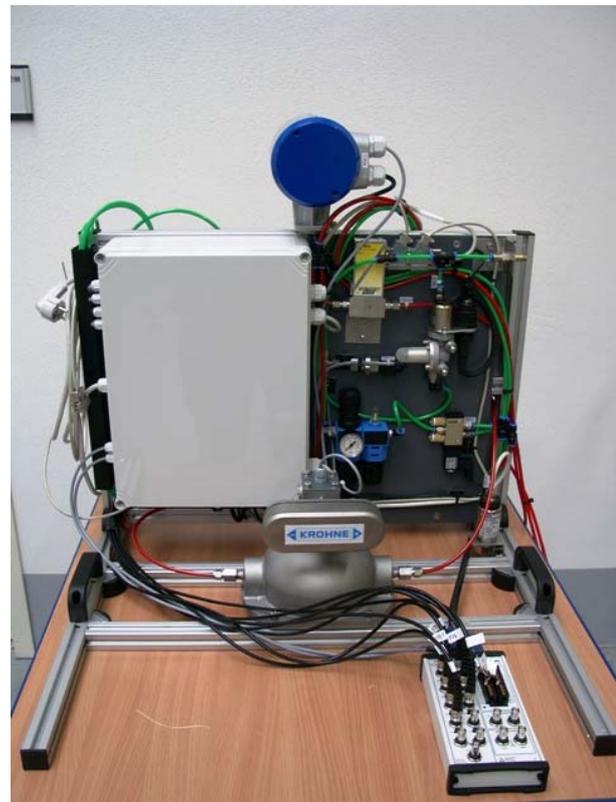


Abb. 4-2 Rückseite des Prüfstandes

4.2 Komponenten und ihre Funktionen

Sämtliche am Prüfstand montierten Bauteile besitzen Positionsnummern. Diese sind in den im Anhang befindlichen Schaltplänen aufgelistet. Zusätzlich befindet sich noch eine Liste mit sämtlichen Positionsnummern des Prüfstandes im Anhang. Die zu testende Dosiereinheit besitzt keine Positionsnummer. Lediglich die Sensoren, sowie das Dosierventil sind nummeriert. In Folgenden werden nur jene Bauteile des Prüfstands erklärt, die für die Prüfung der Funktionsfähigkeit der Dosiereinheiten von unmittelbarer Bedeutung sind.

Die Bilder der Prüfstandsbauteile befinden sich im Anschluss dieses Kapitels.

1. Zu testende Dosiereinheit

Die zu testenden Dosiereinheiten arbeiten nach folgendem Prinzip: In der Dosiereinheit (Abb. 4-3) werden zwei Stoffströme zusammengeführt.

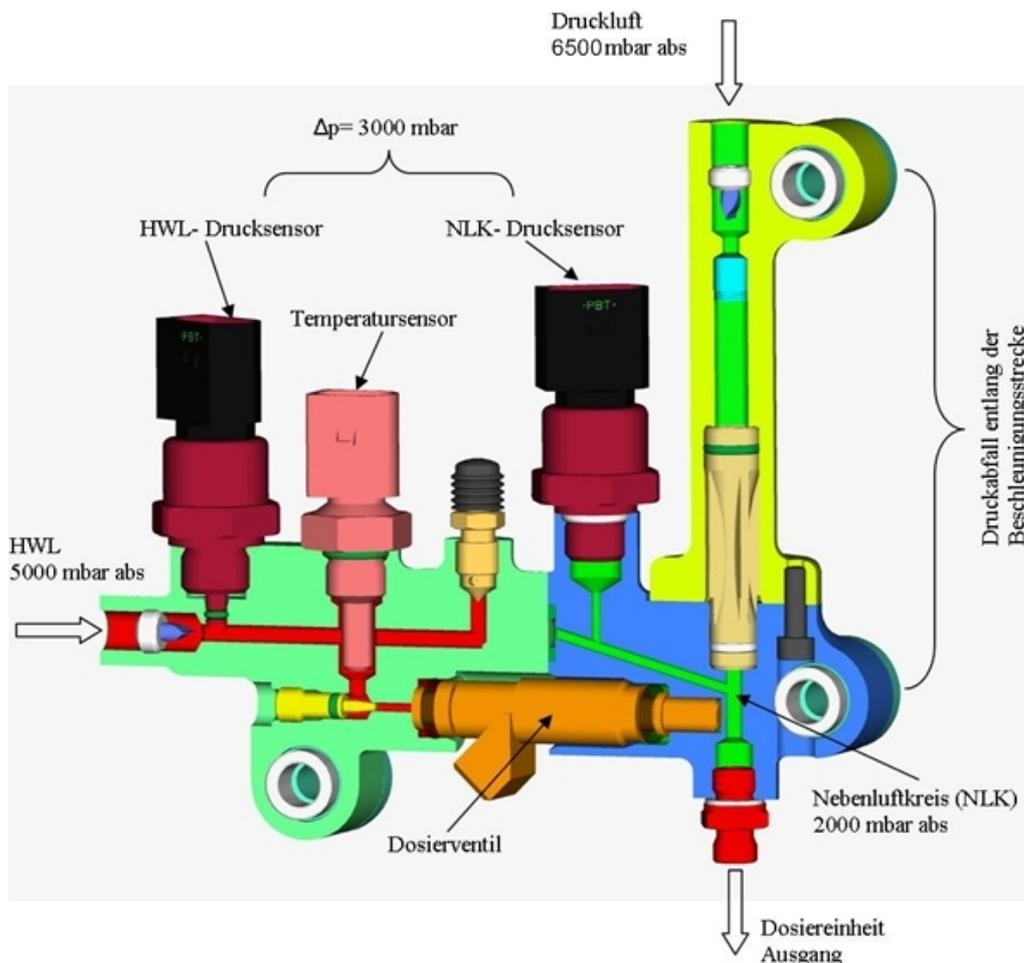


Abb. 4-3 Schnittansicht durch eine Dosiereinheit

Im oberen Bereich der Dosiereinheit wird ein Druckluftstrom mit 6500 mbar Absolutdruck in die Dosiereinheit eingeleitet. Dieser trifft mit dem HWL-Strom zusammen, der von einem Dosierventil entweder konstant oder in Takten unterhalb der Beschleunigungsstrecke in eine kleine Mischkammer eingedüst wird. Dort bildet sich ein feines Aerosol, welches dann die Dosiereinheit über den Ausgang in den Abgasstrang verlässt. Die Dosiereinheit wird von der Versorgungseinheit mit einem HWL-Druck von ca. 5000 mbar gespeist. Die Drücke des Nebenluftkreises (NLK) und der HWL werden über die gleichnamigen Drucksensoren (Pos. 12, 10) erfasst. Bei der Prüfung im vereinbarten Kalibrierpunkt ist es notwendig, dass das Dosierventil (Pos. 13) ganz geöffnet ist, sowie der Differenzdruck zwischen den beiden Drucksensoren einen Wert von 3000 mbar \pm 10 mbar beträgt.

2. Luft-Volumenstromzähler (Pos. 14)

Aufgabe dieses Gerätes (Abb. 4-8) ist es, den in die Dosiereinheit eingeleiteten Luftstrom zu erfassen. Der gemessene Durchsatz wird elektronisch erfasst und der EDV zugeführt. Sollte der gemessene Luft-Volumenstrom außerhalb der Toleranzen liegen, so führt dies automatisch zum Ausschuss der DE.

Das Messprinzip beruht auf einem Spannungsabfall in einer von Strom durchflossenen Spule:

Der Luftvolumenstrom wird durch einen großen Hauptkanal durch das Messgerät geleitet. Zur Ermittlung des Volumenstroms wird nun ein zweiter kleiner Kanal abzweigt. In diesem kleinen Kanal befinden sich in Durchströmungsrichtung zwei hintereinander liegende elektrische Spulen. Die Erste wird von einem elektrischen Strom aufgewärmt. Die vorbeiströmende Luft wärmt sich an der Spule auf und gibt die Wärmeenergie an der zweiten Spule wieder ab, sodass sich eine Widerstandsänderung in der zweiten Spule einstellt. Die zweite Spule wird ebenfalls von einem elektrischen Strom durchflossen. Die sich einstellende Spannungsänderung aufgrund der Widerstandsänderung in der zweiten Spule ist direkt proportional zu dem durchströmenden Volumenstrom.

Weitere technische Eigenschaften des Messgerätes [7]:

- Kalibriert auf Standardbedingungen (1,01 bar und 21,1 °C) in horizontaler Lage
- Messbereich: 0 - 40 l/min

- Reproduzierbarkeit: $\pm 0,5$ % vom Messbereich
- Temperaturkoeffizient: 0,15 % vom Messbereich/ °C
- Druckkoeffizient: 0,01 % vom Bereich/0,07 bar
- Respons- Zeit: 800 msec Zeitkonstante; ca. 2 s bis ± 2 % der Flussrate
- Arbeitsdruck: max. 34,5 bar ; Optimum 1,4 bar
- Gas/Umgebungsdruck: 0 °C bis 50 °C
- Relative Gasfeuchte: bis 70 %
- Einbaulage: Horizontal
- Ausgangssignale: Linear 0 – 5 VDC (1000 Ω Mindestlast), oder 4 – 20 mA
- Stromaufnahme: +12 VDC, 200 mA maximal Eingang durch 750 mA maximal Sicherung
- Signalausgang: 0 – 5 V bzw. 4 – 20 mA

3. Differenzdruckregler/-Sensor (Pos.18)

Um den unter Punkt 2 erwähnten Differenzdruck in der Dosiereinheit einzustellen, verfügt der Prüfstand über einen Proportional-Integral-Differenzdruckregler (PI-Regler) (Abb. 4-9). Auf Basis der Anforderungen der Regelung ist ein PI-Regler am besten geeignet. Der Regler ist ausgelegt für einen Regelbereich von einem Differenzdruck von 0 - 5 bar; dies entspricht einem Regelbereich von 0 – 100 %. Der Regler besitzt zwei separate Druckanschlüsse: $+\Delta p$ und $-\Delta p$. Hinter den Anschlüssen im Gehäuse befinden sich zwei Sensoren. Der Sensor hinter dem $+\Delta p$ -Anschluss erfasst den Druck am HWL-Anschluss vor der Dosiereinheit, der von der Versorgungseinheit geliefert wird. Der zweite Sensor erfasst den Druck des Aerosols am Ausgang der Dosiereinheit. Der Regler ist elektronisch mit einem Regelventil (Pos. 6) verbunden. Mittels dieses Regelventils kann der Regler den von der Versorgungseinheit (Pos. 8) gelieferten Druck regeln und somit den zuvor eingestellten Differenzdruck in der Dosiereinheit einstellen. In der vom Hersteller mitgelieferten Software (FlowView V3.11) lässt sich nun der eingeregelt Differenzdruck ablesen. Dies ist aber der Differenzdruck, den die Drucksensoren des Reglers messen. Der im Prüfstandskontrollprogramm (siehe Kapitel 5.1) dargestellte Differenzdruck ist der, welcher von den in der Dosiereinheit befindlichen Drucksensoren erfasst wird. Dieser ist der relevante

Druck für die Prüfung.

Der Unterschied zwischen dem gemessenen Differenzdruck des Reglers sowie dem durch die Drucksensoren der Dosiereinheit gemessenen kann bis zu 800 mbar betragen. Da sich der Differenzdruckregler aus sicherheitstechnischen Gründen (Schutz vor Feuchtigkeit) auf der Rückseite des Prüfstandes befindet, ist er, um die Drücke messen zu können, mit relativ langen Schläuchen versehen worden. Diese Schläuche stellen Tot-Volumina dar, die zu einer Verfälschung des vom Differenzdruckregler gemessenen Wertes führen. Natürlich würde es sich anbieten, direkt die Drucksignale der Sensoren der Dosiereinheit zu verwenden, um den Differenzdruck in der Dosiereinheit zu erfassen; jedoch ist dies aus EDV-technischen Gründen nicht möglich.

Eine weitere Auffälligkeit ergibt sich durch die Versorgungseinheit, welche die Dosiereinheit mit dem Testmedium versorgt. Da es sich hierbei um eine Membranpumpe handelt, ist der Förderstrom nicht konstant, sondern unterliegt gewissen Pulsationen. Diese schlagen sich auch im gemessenen Istwert des Differenzdruckes nieder.

Abb. 4-4 zeigt einen Messschrieb des PI-Reglers. Dargestellt wird die Sprungantwort des Reglers während der Regelung des Differenzdruckes in der Dosiereinheit. Die Ordinate gibt den Regelbereich des Reglers in Prozent an (0 – 5 bar = 0 – 100 %). Die gelbe Strichpunktlinie ist der Öffnungsgrad des Regelventils in Prozent. Die rote Strichlinie bezeichnet den vom Bediener eingestellten Sollwert ebenfalls in Prozent, die von einer grünen schwankenden Volllinie gefolgt wird, dem Istwert der Regelgröße (Differenzdruck). Die Schwankungen des Istwertes sind auf das Förderverhalten der Membranpumpe zurückzuführen. Die Tot-Volumina in den Schläuchen zum Regler verstärken diesen Effekt noch.

Die Pulsationen der Pumpe, sowie die Tot-Volumina sind die Störgrößen der Regelung. Diese Formen der Störungen werden als so genannte „statische Störungen“ [12] bezeichnet.

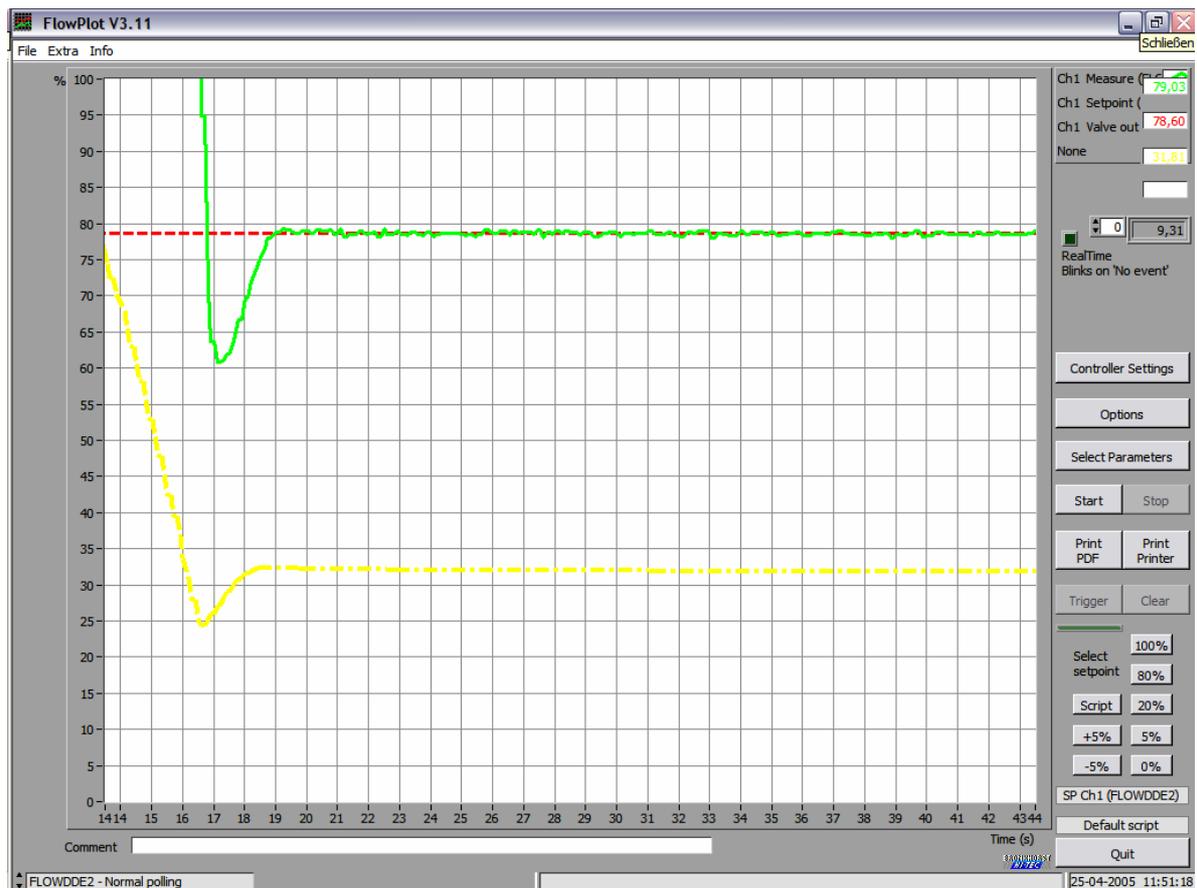


Abb. 4-4 Messschrieb des PI-Reglers

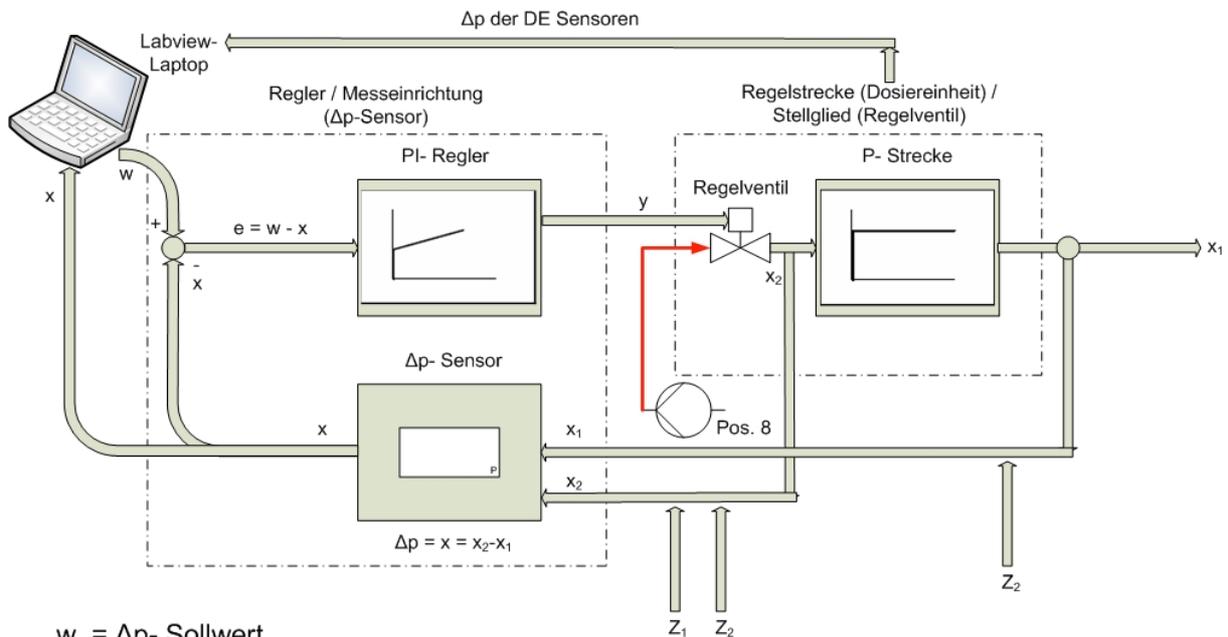
Die Folge ist, dass der von den Drucksensoren der Dosiereinheit gemessene Differenzdruck leicht schwankt. Bei eingeregelterm Differenzdruck von 3000 mbar um ca. ± 3 mbar. Dies ist aber gegenüber einer Differenzdrucktoleranz von ± 5 mbar vertretbar. Somit entspricht z. B. ein durch die Drucksensoren der Dosiereinheit eingeregelter Differenzdruck von 3000 mbar ± 10 mbar einem durch die Sensoren des Differenzdruckreglers erfassten Differenzdruck von 3650 mbar. Am linken Rand des Messschriebs lässt sich die typische Sprungantwort-Form des PI-Reglers erkennen.

Der Regelkreis

Der Regelung des Differenzdruckes liegt folgender Regelkreis zu Grunde (Abb. 4-5). Der Bediener stellt im Prüfstandsprogramm auf dem Computer den Sollwert des Differenzdruckes so lange ein, bis die Sensoren der Dosiereinheit den korrekten Differenzdruck von 3000 bar messen.

Der gewählte Sollwert in Prozent des Regelbereiches wird als Sollwert (w) dem Differenzdruckregler über die RS232-Schnittstelle gesendet. An der so genannten Additi-

onsstelle wird die Regeldifferenz (e) gebildet ($e = w - x$), das heißt, dass der von den Sensoren des Differenzdruckreglers gemessene Differenzdruck ($x = \Delta p$) vom vorgegebenem Sollwert (w) subtrahiert wird. Ist die Regelabweichung gleich Null ($e = 0$), ist der gewünschte Sollwert korrekt eingeregelt.



- w = Δp - Sollwert
- x = Regelgröße (aktueller Ist- Wert des Differenzdrucks erfaßt durch Differenzdruck- Sensor)
- e = Regeldifferenz
- y = Stellgröße (Stellung des Regelventils)
- x_1 = Ist- Werte Druck Dosiereinheit Ausgang ($-\Delta p$)
- x_2 = Ist- Wert Druck Versorgungseinheit ($+\Delta p$)
- z_1 = Störgröße durch Pulsation der Pumpe
- z_2 = Störgröße durch Tot- Volumina der Messanschlüsse
- \rightarrow = Testmedium- Leitung von Versorgungseinheit zum Regelventil

Abb. 4-5 Regelkreis

Da die statischen Störgrößen (z_1, z_2) stetig den eingeregelteten Differenzdruck verändern, ist die Regeldifferenz in diesem Fall nie gleich Null.

Der Regler übergibt deshalb eine Stellgröße (y , hier: Öffnungsgrad des Regelventils) an die Regelstrecke mit seinem Stellglied (Dosiereinheit mit Regelventil), die eine Änderung der Ventilöffnung bewirkt. Die daraus resultierende Druckänderung wird nun wiederum von den Sensoren der Dosiereinheit gemessen und im Prüfstandsprogramm ausgegeben.

Der geänderte Differenzdruck über der Dosiereinheit schlägt sich in dem von den Sensoren des Differenzdruckreglers gemessenen Differenzdruck nieder. Der Differenzdruckregler erfasst dazu einmal den Druck nach dem Ausgang der Dosiereinheit

(x_1) sowie den Druck der Versorgungseinheit nach dem Regelventil (x_2). Daraus wird die endgültige Regelgröße $\Delta p = x_2 - x_1$ gebildet, welche wiederum in die Bestimmung der Regeldifferenz eingeht.

Der Regelkreis wird nun immer wieder durchlaufen, so dass kontinuierlich die Störgrößen herausgeregelt werden und der eingeregelte Differenzdruck über der Dosiereinheit (mit den tolerierbaren Schwankungen) gehalten wird.

4. Massenstromzähler (Pos. 7)

Der nach dem Coriolis-Messprinzip arbeitende Massenstromzähler (Abb. 4-10) dient der Erfassung der der Dosiereinheit zugeführten HWL Menge. Der Coriolis-Massestromzähler ist zwischen dem Regelventil und dem HWL-Eingang der Dosiereinheit eingebaut. Er erfasst damit den Massenstrom an Testmedium, welcher der Dosiereinheit effektiv durch die Versorgungseinheit zugeführt wird.

Für eine Übersicht über den gesamten hydraulischen und pneumatischen Aufbau befindet sich eine Übersichtszeichnung im Anhang (A.5).

Das Coriolis-Messprinzip [11]:

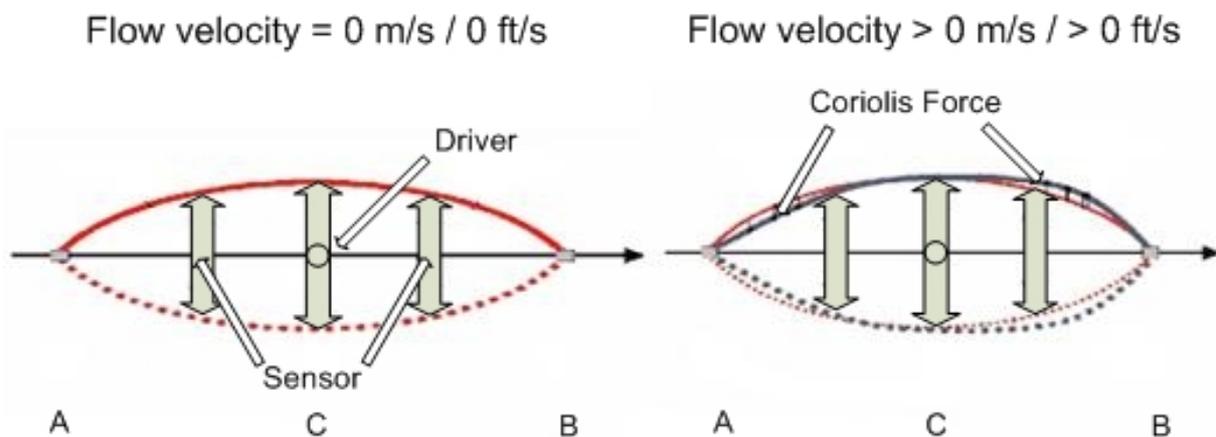


Abb. 4-6 Coriolis-Messprinzip

Corioliskräfte entstehen in schwingenden Systemen, wenn sich eine Masse zu einer Schwingungsachse hin oder von dieser weg bewegt. Das Messrohr wird durch einen Treiber in eine ebene Schwingung um die Ruhelage A-B versetzt. Wird das Messrohr von Flüssigkeitsteilchen mit der Geschwindigkeit v durchströmt, entstehen Corioliskräfte (Coriolis Force), die an den beiden Rohrhälften mit unterschiedlichen Vorzeichen angreifen. Sie sind direkt proportional zum Massenstrom und führen zu einer Verformung des Messrohrs. Zwischen den Punkten A und C werden diese Teilchen

von einer niedrigen auf eine höhere Bahngeschwindigkeit beschleunigt. Die Corioliskraft wirkt der Beschleunigungsrichtung entgegen. Zwischen den Punkten C und B werden die Flüssigkeitsteilchen analog zu A und C abgebremst, wodurch Beschleunigungs- und damit auch Reaktionskräfte in umgekehrter Richtung entstehen. Diese Coriolisverformung ist extrem klein und der Grundschiwingung des Messrohres überlagert. Die Gesamtbewegung des Messrohres wird mittels induktiver Sensoren erfasst. Das erzeugte Signal ist proportional zum Massendurchfluss und wird im Messumformer verarbeitet. Da die Schwingfrequenz des Messrohres temperaturabhängig ist, wird die Temperatur ständig gemessen und die Messwerte entsprechend korrigiert.

Weitere technische Eigenschaften des Messgerätes [9]:

- Genauigkeit: $\pm 0,1$ % vom Messwert
- Reproduzierbarkeit: $> 0,05$ % plus Nullpunktstabilität
- Nullpunktstabilität: $\pm 0,015$ % vom Nennwert des jeweiligen Sensors
- Referenzbedingungen: Wasser, 20 °C, Betriebsdruck 2 bar
- Dichte Messbereich: 500...2000 kg/m³
- Temperatur Messbereich: -30...+150 °C
- Nenndruck (Messrohr): -1...150 bar_{rel}
- Nenndruck Gehäuse: -1...30 bar_{rel}
- Prozesstemperatur: -40...+150 °C
- Umgebungstemperatur: -40...+55 °C

Technische Eigenschaften des modularen Messumformers (Pos. 20) für den Massenstromzähler [9]:

- Versorgungsspannung: 24 V DC ($\pm 30\%$)
- Leistungsaufnahme: 18 VA
- Schleichmengenunterdrückung: 0...10 % des Nenndurchflusses für jeweilige Sensorgröße
- Zeit- und
Messwertaufnehmerkonstante: 0,2 bis 20 s (Dämpfungsfunktion)
nur für mA- Ausgang
- Umgebungstemperatur: -40...+60 °C

- Signalausgang : 4...20 mA

5. Referenzdrucksensor (Pos. 27)

Auch die in der Dosiereinheit verwendeten Drucksensoren unterliegen einer Toleranz. Zu diesem Zweck besitzt der Prüfstand einen Referenzdrucksensor (Abb. 4-11), der den absoluten Umgebungsluftdruck erfasst. Sind die Drucksensoren der Dosiereinheit dem Umgebungsluftdruck ausgesetzt, so müssen sie den Luftdruck mit einer Genauigkeit von ± 50 mbar in Bezug auf den Referenzdrucksensor anzeigen. Die Sensoren der Dosiereinheit werden mit einer Spannung von 5,0 V gespeist, ihr Messbereich ist 500 mbar – 4500 mbar.

Sollten die Werte der Sensoren der Dosiereinheit nicht im Bereich des vom Referenzdrucksensor erfassten Luftdrucks liegen, so führt dies zum Ausschluss der gesamten Dosiereinheit. Der Referenzdrucksensor ist für Präzisionsmessungen ausgelegt und erlaubt damit eine sehr genaue Erfassung des Luftdrucks.

Weitere technische Eigenschaften des Referenzdrucksensors [10]:

- Messbereich: 0...1,6 bar_{abs}
- Hilfsenergie: 10...30 DC V
- Signalausgang: 0...10 V
- zulässige Temperaturen
Messstoff / Umgebung: -20...+80 °C
- kompensierter Temperaturbereich: -20...+80 °C
- Messgenauigkeit: 0,1 %

6. Druckluftwächter (Pos. 9)

Der Druckluftwächtersensor (Abb. 4-12) dient zur Überwachung der Druckluftversorgung. Sollte der Prüfstand unabhängig von der hausinternen Druckluftversorgung betrieben werden, so besteht die Gefahr, dass durch schwankenden Druck die Messergebnisse verfälscht werden können. Um auf solche Druckeinbrüche, z. B. verursacht durch ein einsetzendes pneumatisches Arbeitsgerät oder das Einschalten

des Versorgungskompressors, aufmerksam zu werden, ist dieser Druckwächter in der Versorgungsleitung des Prüfstandes eingebaut.

Weitere technische Eigenschaften des Druckluftwächters [12]:

- Messbereich: 0...20 bar_{abs}
- Hilfsenergie: 5 DC V
- Signalausgang: 0,5...4,5 V



Abb. 4-7 Dosiereinheit



Abb. 4-8 Luftvolumenstrommessgerät



Abb. 4-9 PI-Regler



Abb. 4-10 Massenstromzähler



Abb. 4-11 Referenzdrucksensor



Abb. 4-12 Druckluftwächter

4.3 Technische Realisation

Dem Zusammenbau des Prüfstandes ging eine intensive Auslegungs- und Planungsarbeit voraus. Es wurde in Absprache mit Purem ein Konzept für den Prüfstand entwickelt.

Nach Festlegung des Konzeptes und der Grundabmaße wurden Entwurfszeichnungen im Zeichenprogramm Auto CAD erstellt. Nach mehreren Modifikationen konnte eine Auflistung aller für den Prüfstand nötigen Bauteile gemacht werden, die schließlich bei den entsprechenden Lieferanten bestellt wurden. Der Prüfstand wurde im Zuge dieser Arbeit in den Einrichtungen von Purem gefertigt.

Die gelieferten Aluminiumprofile des Grundrahmens konnten durch eine besondere Bearbeitung der Profilenen direkt und schnell montiert werden, so dass eine nachträgliche Ausrichtung der Rechtwinkeligkeit und der Parallelität nicht nötig war.

Besonderes Augenmerk lag auf der Auslegung der Schnellspannvorrichtung (Abb. 4-13) für die Dosiereinheit.

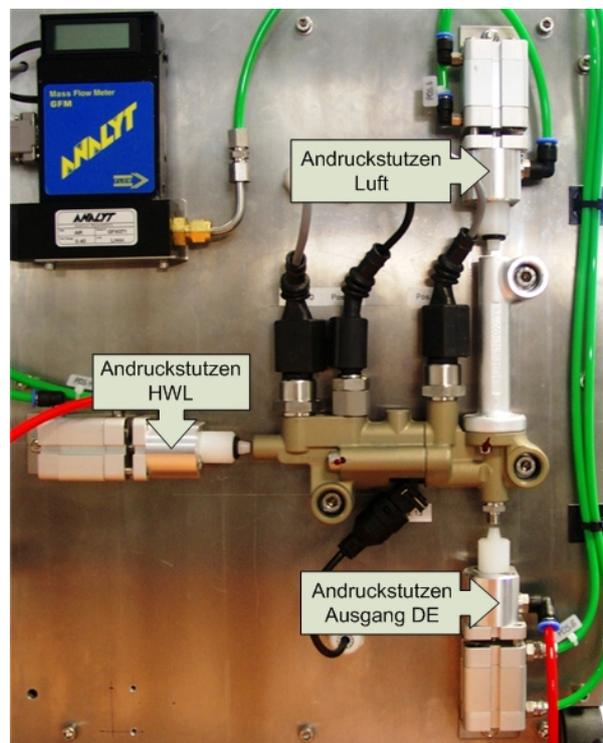


Abb. 4-13 Gesamtansicht der Schnellspannvorrichtung

Abbildung (Abb. 4-14) zeigt die vorangegangene Konstruktion der Schnellspannvorrichtung im Zeichenprogramm Auto CAD. Erkennbar ist, dass die Andruckstutzen der Schnellspannvorrichtung exakt auf den Mittellinien der Beschleunigungsstrecke bzw. des HWL-Anschlusses liegen. Dies wurde auch beim späteren Zusammenbau der Schnellspannvorrichtung berücksichtigt. Dadurch ist gewährleistet, dass die Andruckkegel genau in die Bohrungen der Dosiereinheit fahren können und diese nicht beschädigen. Auch ist damit die Möglichkeit ausgeschlossen, dass die Polyamid-Kegel der Andruckstutzen an den Gewinden der Bohrungen der DE entlangschleifen und somit frühzeitig verschleifen. Die Pneumatikzylinder unterliegen damit keiner Außermittigkeit und werden nur axial belastet.

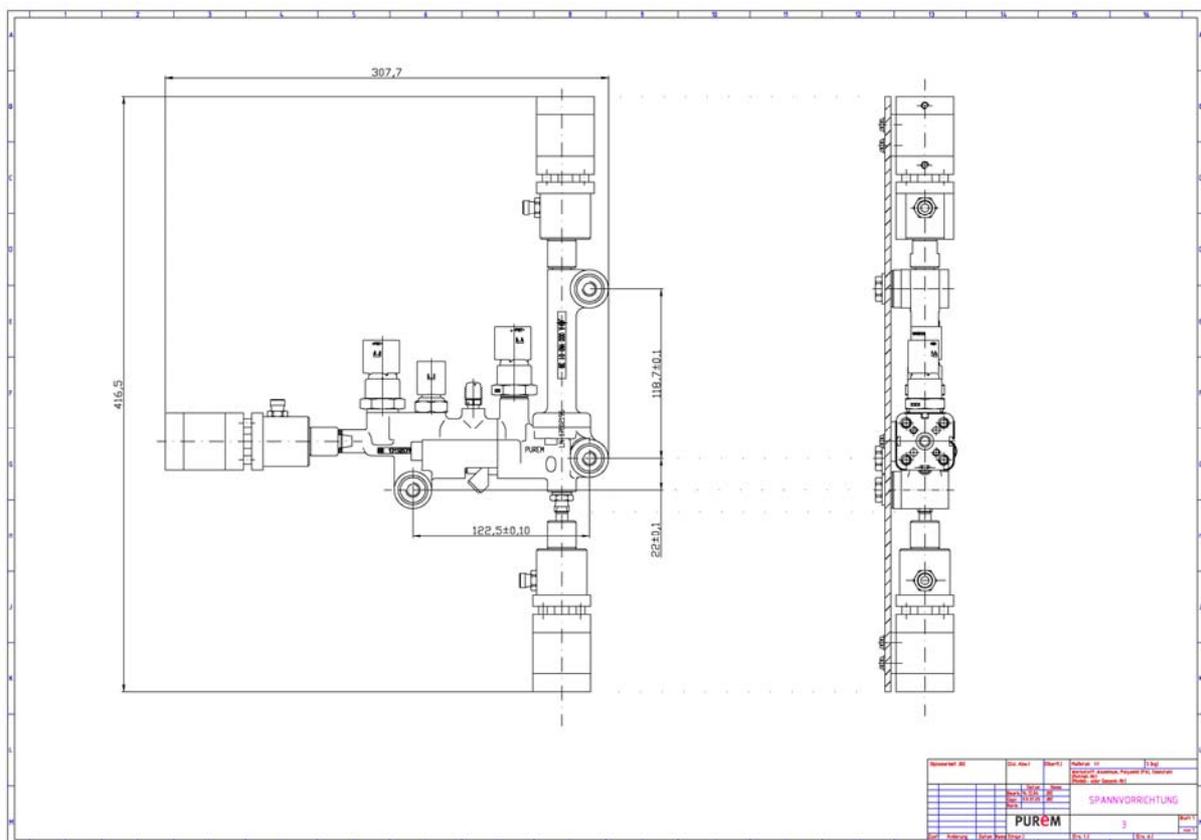


Abb. 4-14 Konstruktionszeichnung Schnellspannvorrichtung

Die Andruckstutzen bestehen jeweils aus zwei Teilen. Zum einen aus einem Sockel aus Aluminium, der direkt auf den Pneumatikzylinder geschraubt wurde. Den zweiten Teil bildet der eigentliche Andruckstutzen aus Polyamid (Abb. 4-15). Der Sockel ist mit einer rechtwinkligen Bohrung versehen und leitet dadurch entweder das Testmedium oder Druckluft in den eingeschraubten Andruckstutzen aus Polyamid.

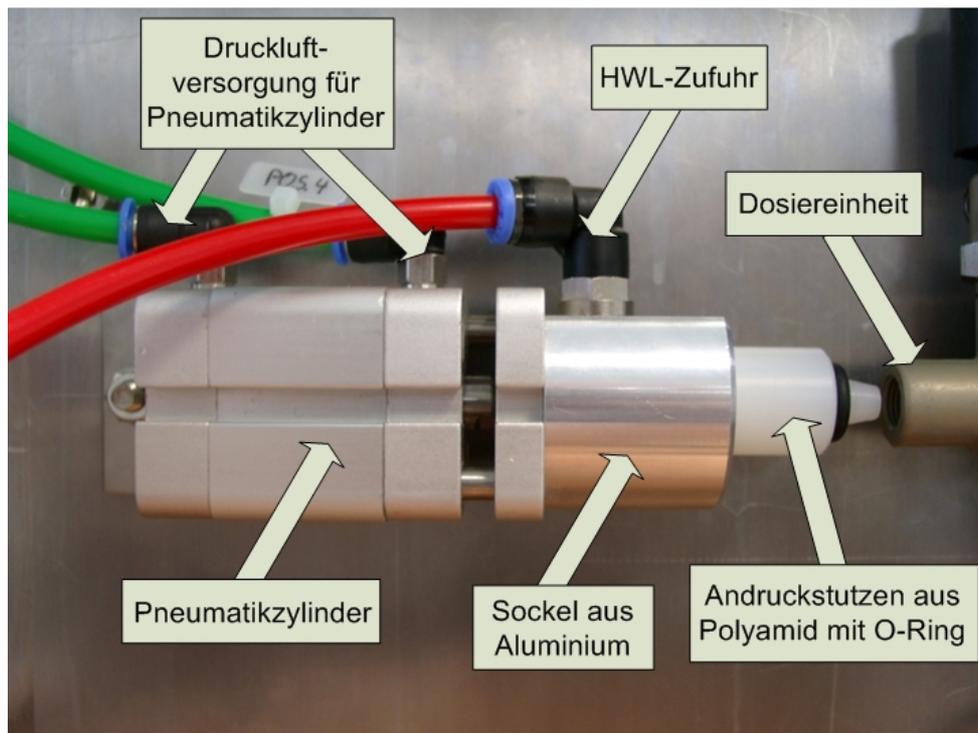


Abb. 4-15 Andruckstutzen am HWL-Eingang der Dosiereinheit

Der eingeschraubte Andruckstutzen aus Polyamid ermöglicht einen schnellen Wechsel bei Verschleiß oder Beschädigung. Zudem ist durch die Wahl des Werkstoffes eine Beschädigung der zu prüfenden Dosiereinheit ausgeschlossen. Die druckbeaufschlagten Andruckstutzen der HWL- bzw. Druckluftanschlüsse sind mit O-Ringen versehen, die eine sichere Abdichtung der Anschlussstellen ermöglichen. Der Andruckstutzen am Ausgang der Dosiereinheit hat keinen O-Ring; er besitzt eine kegelförmige Spitze, die den gleichen Winkel besitzt wie der Kegelsitz der in den Ausgang der Dosiereinheit eingeschraubten Schraubverbindung. Da an dieser Stelle der Druck minimal über dem Umgebungsdruck liegt, sind hier keine weiteren Dichtmaßnahmen notwendig. Die medienführenden Bohrungen der Sockel sowie der Andruckstutzen wurden mit den Durchmessern der am Prüfstand verwendeten Schläuche ausgeführt, um Druckverluste möglichst gering zu halten. Um eine Verwechslung der Betriebsmedien zu verhindern, wurden sämtliche druckluftführenden Leitungen in grün und alle testmediumführenden Leitungen in rot ausgeführt. Diese Kodierung findet sich auch in den Schaltplänen des Prüfstandes wieder (A.5, A.6). Die Verbindungsstellen der Schläuche wurden mit Schnellverbindern ausgeführt. Somit ist es möglich, die Konfiguration (z. B. die Durchflussrichtung des Testmediums, durch die Geräteanordnung) schnell und unkompliziert zu ändern.

Der Prüfstand hat ein Gewicht von ca. 50 kg ohne Computer und Testmedium.

Vier Griffe am Prüfstand vereinfachen das Verladen des Prüfstandes in den Kofferraum eines Pkws oder das Platzieren des Prüfstandes auf einem Rollwagen. Wichtig ist, dass der Prüfstand aus Sicherheitsgründen stets von zwei Personen getragen werden sollte. Standortwechsel im Bereich des Firmengeländes können mit dem Rollwagen von einer Person durchgeführt werden.

Aufstellungsorte mit besonders hoher Luftfeuchtigkeit, starker Sonneneinstrahlung oder Erschütterungen sind aufgrund der teilweise empfindlichen Messgeräte und elektrischen Bauteile zu meiden.

Beim Transport des Prüfstands in einem Pkw ist dieser mit Spanngurten so zu sichern, dass bei einem Unfall keine Gefahr für die Fahrzeuginsassen entstehen kann. Es wird empfohlen den Prüfstand direkt nach dem Verladen an das Bordnetz des Fahrzeuges anzuschließen, so dass die Messgeräte, die eine gewisse Aufwärmzeit benötigen, sich aufwärmen können.

Weiterhin wichtig ist, dass der Behälter mit dem Testmedium immer auf der Höhe des Coriolis-Zählers gestellt wird, da es sonst nicht zu einer Beruhigung des Testmediums in den Anschlussleitungen kommt. Kommt es nicht zu einer Beruhigung, so kann nach Prüfungsende der Zähler seinen Nullpunkt nicht erreichen.

5 Prüfstandssteuerung und Datenerfassung

Um eine effektive und schnelle Überprüfung der Dosiereinheiten zu ermöglichen, ist die Prüfprozedur weitestgehend automatisiert worden. Notwendige Versorgungsmedien der Dosiereinheit wie Druckluft und bidestilliertes Wasser werden über Magnetventile (Druckluft) bzw. Membranpumpe (bidestilliertes Wasser) bereitgestellt. Angesteuert werden diese Bauteile durch einen Laptop. Zu diesem Zweck befinden sich Halbleiterrelais in der Elektrik-Box auf der Rückseite des Prüfstands. Auch werden mittels dieser Relais das Dosierventil und das 5/2-Wegeventil für die Pneumatikzylinder der Schnellspannvorrichtung angesteuert.

Der Differenzdruckregler ist direkt über den seriellen Ausgang mit dem Laptop verbunden. Die Steuerung sowie alle notwendigen Einstellungen des Reglers erfolgen durch das Kontrollprogramm.

Alle zu erfassenden Messgrößen des Prüfstands laufen ebenfalls in der Elektrik-Box zusammen. Die Signale werden über abgeschirmte Kabel an die BNC-Stecker-Box weitergeleitet und können dem Computer dann über die eingesteckte PCMCIA Karte bereitgestellt werden.

5.1 Prüfstandsteuerung mit Labview

Die Steuerung und Messung durch den Laptop erfolgt mittels der Software Labview. Labview ist eine Entwicklung der Firma National Instruments und ist schon seit 1987 auf dem Markt. Die für diese Diplomarbeit verwendete Version ist Labview 7.1.

Programmiert wird in Labview in der Programmiersprache „G“. Ein Programm oder Programmmodul wird als *virtuelles Instrument (VI)* bezeichnet und besteht immer aus zwei Teilen: Zum einen aus dem so genannten Frontpanel, dieses Frontpanel stellt die eigentliche Bedienoberfläche des Programms dar. Hier können Drehknöpfe, Schalter, Leuchtdioden usw. aus Menüs ausgewählt und auf dem Frontpanel platziert werden.

Der zweite Teil ist das so genannte Blockdiagramm. Hier tauchen alle zuvor im Frontpanel platzierten Bedienelemente wieder auf. Allerdings nicht in ihrer optischen Form als Schalter oder Oszilloskope, sondern nur als kleine quadratische Symbole. Diese können hier nun miteinander verbunden werden. Labview bietet an dieser Stelle viele weitere Möglichkeiten zur Programmierung. Im Blockdiagramm können z. B. Signal-

behandlungsmethoden definiert, Signalfilter festgelegt oder mathematische Operanden eingebracht werden. Natürlich lassen sich auch die bekannten Schleifen (While-, Do Loop- etc.) einbringen und in diesen wiederum weitere Verknüpfungen oder Befehle. Das Aussehen des Frontpanels (Abb. 5-1) erinnert nach der Programmierung an eine übliche Bedieneroberfläche, wie sie von einer Instrumententafel z.B. eines Prüfstandes bekannt ist. Man kann eine fast unbegrenzte Anzahl an Werkzeugen schaffen, mit denen nahezu jede Aufgabe aus dem Bereich der Mess- und Regelungstechnik ausgeführt werden kann.

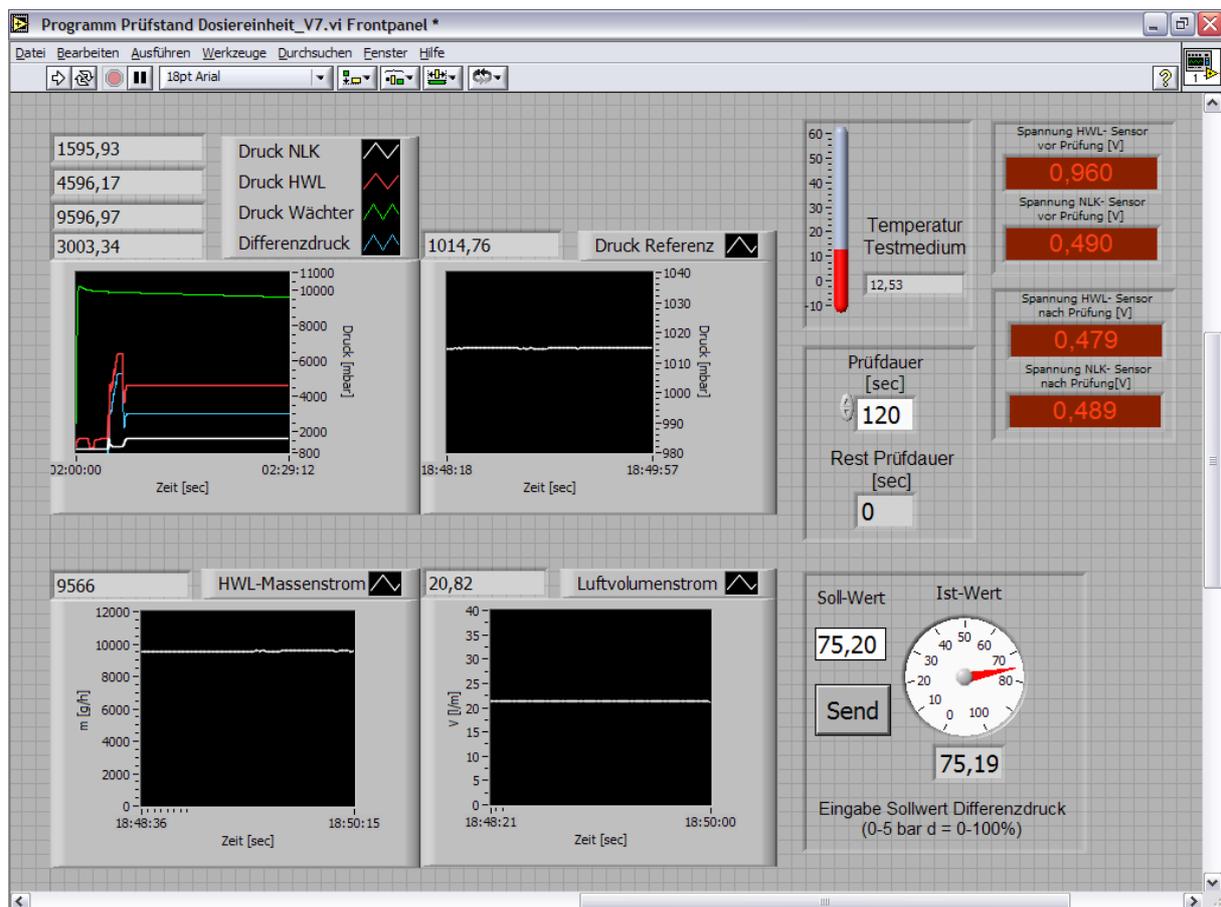


Abb. 5-1 Frontpanel des Prüfstandprogramms

Das obige Frontpanel (Abb. 5-1) des Prüfstandprogramms zeigt unter anderem vier Diagrammschreiber. Der linke obere Schreiber zeichnet die Druckkurven der beiden Drucksensoren (Druck Nebenluftkreise (NLK) und Druck HWL) der Dosiereinheit auf, den Druck des Druckwächters, sowie den durch die Sensoren der Dosiereinheit erfassten Differenzdruck. Der obere rechte Schreiber gibt den vom Referenzdrucksensor gemessenen Umgebungsdruck wieder. Die beiden unteren Schreiber stellen den ermittelten Durchsatz an bidestilliertem Wasser, sowie den in der Dosiereinheit

durchgesetzten Luftvolumenstrom dar. Das Thermometer zeigt den aktuellen Wert der Temperatur des Testmediums. In den Zahlenfeldern können die Prüfdauer sowie der Soll-Wert für den Differenzdruck des PI-Reglers eingestellt werden. Das Drehinstrument und die digitale Anzeige darunter zeigen den aktuellen Ist-Wert des Reglers. Mittels der Taste „Send“ wird der gewählte Sollwert an den Sensor des Differenzdruckreglers gesendet, der diesen dann an dem Regelventil einstellt und hält. Die vier rot hinterlegten Digitalanzeigen geben die Sensorspannungen der Sensoren der Dosiereinheit wieder. Die beiden oberen Anzeigen geben die Spannungen des HWL- und des NLK-Sensors vor der Prüfung, die beiden unteren die Spannungen der Sensoren nach der Prüfung wieder.

Die Abbildung (Abb. 5-2) enthält eine Übersicht über das Blockdiagramm. Das Blockdiagramm ist dieser Arbeit im Anhang (A.3) im Zeichnungsformat DIN A3 beigelegt, dort ist es besser zu lesen. Das Blockdiagramm teilt sich im Wesentlichen in 5 Hauptbereiche ein, welche in der Übersicht nummeriert und (rot) eingerahmt sind.

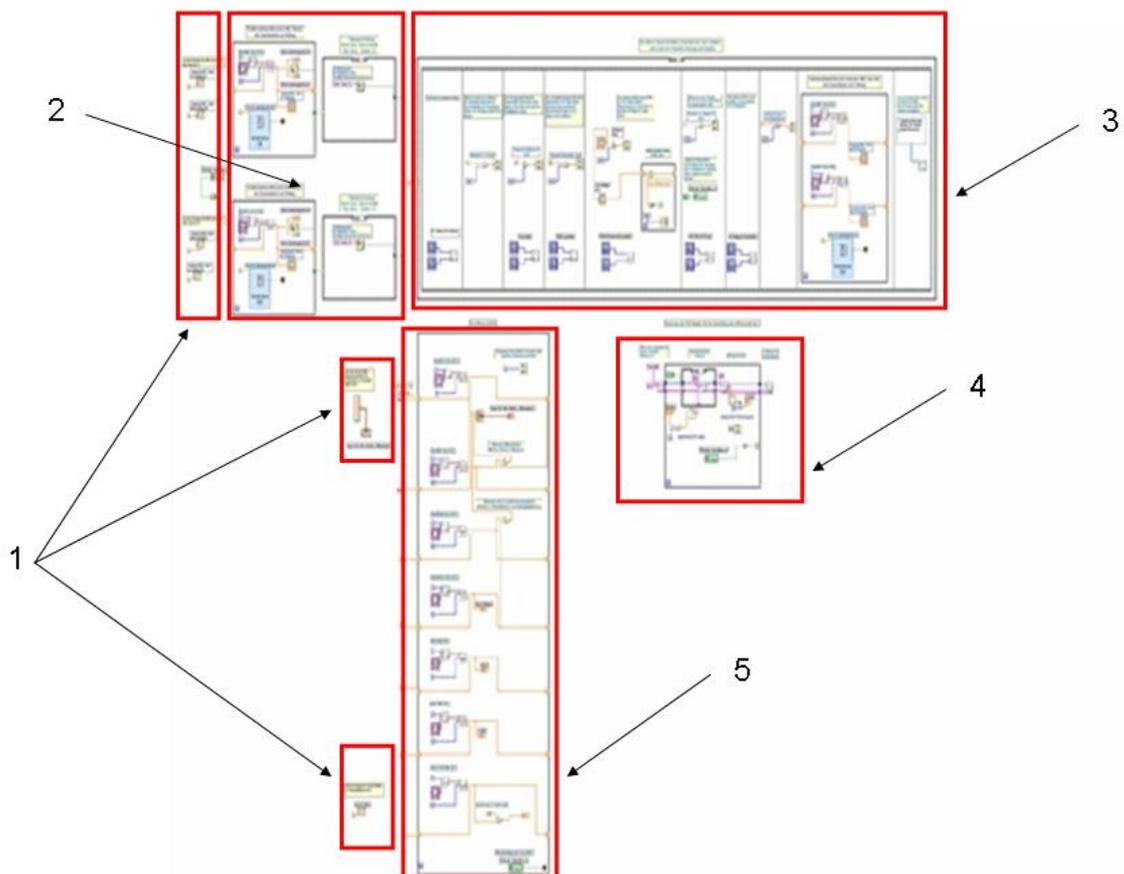


Abb. 5-2 Übersicht Blockdiagramm des Prüfstandprogramms

Diese werden im Folgenden in ihren Funktionen erklärt.

Wird das Programm ausgeführt (kompiliert), so wird das Blockdiagramm von links nach rechts durchlaufen. Als erstes werden die rot umrandeten Bereiche mit der Nummer 1 ausgeführt.

Die in diesem Rahmen enthaltenen Befehle dienen dazu, Anzeigen und Diagrammschreiber auf dem Frontpanel zu Beginn des Prüfprogramms auf den Wert Null zu setzen. Dies verhindert, dass Werte eines vorangegangenen Programmdurchlaufs im nachfolgenden noch zu sehen sind. Außerdem wird eine so genannte globale Variable namens „Stopper“ festgesetzt. Eine globale Variable ermöglicht es unter anderem, an verschiedenen Stellen des Blockdiagramms auf Objekte des Frontpanels zugreifen zu können [10]. Die Funktion dieser globalen Variablen mit ihrem nun festgesetzten Zustand wird noch im Verlauf des folgenden Kapitels erläutert.

Als nächstes wird der Bereich 2 ausgeführt. Die in diesem Bereich enthaltenen beiden While-Schleifen, die jeweils von einer so genannten Case-Struktur gefolgt werden, führen eine Funktionskontrolle der Drucksensoren der Dosiereinheit durch. Zu diesem Zweck werden in den beiden While-Schleifen die Kanäle mit der Signalspannung des HWL- und des NLK-Sensors ausgelesen (Zu diesem Zeitpunkt liegt bei den Sensoren noch der Umgebungsdruck an). Die beiden Kanäle werden für fünf Sekunden ausgelesen, um einen stabilen Spannungswert zu erhalten. In den While-Schleifen befindet sich ein Programmbaustein, der die Festlegung der Spannungstoleranzen innerhalb der Sensorüberprüfung ermöglicht. Wird der Spannungswert der beiden Kanäle ausgelesen, so wird in den While-Schleifen folgenden Case-Strukturen eine Fallunterscheidung getätigt.

Liegen die Spannungswerte beider Sensoren innerhalb der Toleranz, so gibt das Prüfprogramm zwei Meldungen auf dem Frontpanel aus „HWL-Sensor i. O.“ und „NLK-Sensor i. O.“. Beide Meldungen muss der Bediener mit „OK“ bestätigen. Nach der Bestätigung wird der Rest des Programms ausgeführt.

Sollte jedoch einer der beiden Sensoren außerhalb der Toleranzen liegen, so erfolgt z. B. die Meldung „HWL-Sensor n. i. O.“. Der Bediener kann nun zwischen zwei Optionen wählen, Linke Taste: „Messung fortführen“ und der rechten Taste: „Messung abbrechen“. Sollte der Bediener die Taste „Messung abbrechen“ wählen, so wird das

gesamte Programm abgebrochen. Bei Wahl der Taste „Messung fortführen“ wird die Prüfroutine ganz normal durchlaufen. Ist, wie in diesem Beispiel (Abb. 5-3) der HWL-Sensor defekt, der NLK-Sensor jedoch funktionsfähig, so wird das mit „NLK-Sensor i. O.“ auch parallel gemeldet.

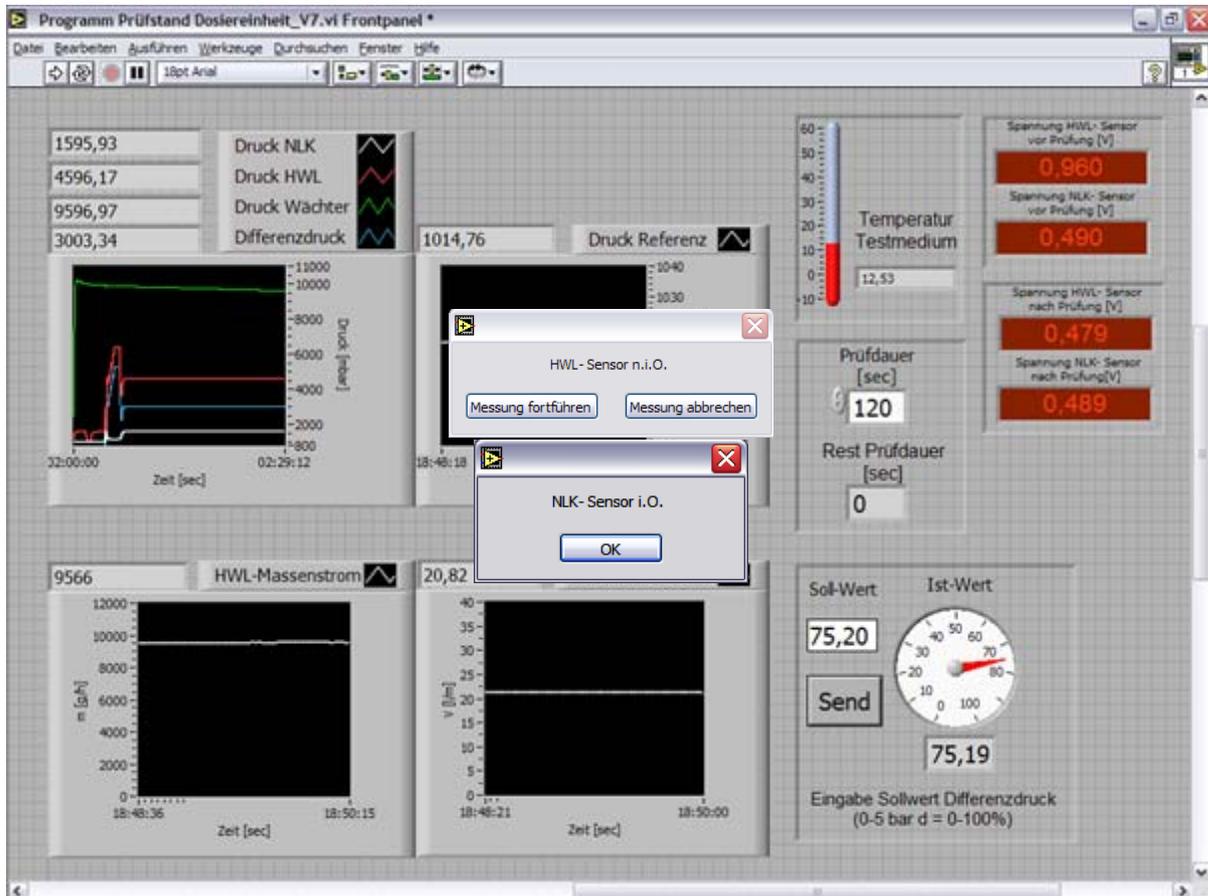


Abb. 5-3 Meldungen im Frontpanel

Werden nun die Meldungen „HWL-Sensor i. O.“ bzw. „NLK- Sensor i. O.“ bestätigt, oder wird nach einer Fehlermeldung z.B. „HWL- Sensor n. i. O.“ die Taste „Messung fortführen“ betätigt, so übergeben die beiden Case-Strukturen der Fallunterscheidung einen „True-Case“ an die große Case-Struktur des rot markierten Bereichs 3. In dieser Case-Struktur befindet sich eine so genannte flache Sequenzstruktur. Die flache Sequenzstruktur ähnelt in ihrem Äußeren genau einem Filmstreifen. Genau wie bei einem Film wird hier ein „Bild“ (in Labview: Rahmen) nach dem anderen abgearbeitet und die darin enthaltenen Befehle werden ausgeführt. Die flache Sequenzstruktur übernimmt im Wesentlichen die Steuerung der Prüfstandshardware. Mittels der in der

Elektronik-Box auf der Rückseite des Prüfstands enthaltenen Halbleiterrelais kann der Computer die für die Prüfung notwendigen Geräte des Prüfstandes ansteuern.

5.2 Prüfungsablauf

In sechs der zehn Rahmen der flachen Sequenzstruktur befinden sich schwarzweiße Quadrate mit der Bezeichnung „Dig Port“. Mit diesen graphischen Befehlen kann Labview angewiesen werden, einen binären Code auf einen digitalen Ausgang der PCMCIA-Karte des Rechners auszugeben. Dadurch wird eines der Relais in der Elektronik-Box auf der Rückseite des Prüfstands angesteuert und so, im Fall des ersten Rahmens, die Spannvorrichtung geschlossen und die zu prüfende Dosiereinheit gespannt. Im Fall der hier verwendeten PCMCIA-Karte ist es ein binärer Code von 8 Zeichen. Im ersten Rahmen ist es: 00000000. Da das 5/2-Wegeventil, welches die Pneumatikzylinder der Schnellspannvorrichtung ansteuert, stromlos geschlossen ist, wird ein Code der acht Nullen auf den Port geschrieben, um die Schnellspannvorrichtung zu schließen.

Die weiteren Portbelegungen nun in der Übersicht:

- Öffnen des 5/2-Wegeventils: 00000001
- Öffnen des Dosierventils: 00000100
- Öffnen des Magnetventils für die Druckluft Versorgung: 00001000
- Einschalten der Versorgungseinheit: 00010000

Im zweiten Rahmen befindet sich ein Uhrensymbol. Dieses Uhrensymbol definiert eine Wartezeit von drei Sekunden nach dem Schließen der Schnellspannvorrichtung. Zweck dieser Wartezeit ist, dass sich die O-Ringe setzen und so die Andruckstutzen optimal abdichten können, bevor sie mit dem Luft-, bzw. Testmedium beaufschlagt werden.

Der dritte Rahmen schaltet nun die Versorgungseinheit ein. Da die Versorgungseinheit ein Pneumatikventil besitzt, welches den Druckausgang der Pumpe öffnet, fördert die Pumpe nun für festgelegte 10 Sekunden direkt wieder in den Tank zurück. Dies entlüftet die Pumpe und garantiert einen optimalen Druckaufbau im folgenden 4. Rahmen der Sequenz.

In diesem Rahmen wird nun die Druckluftversorgung der Beschleunigungsstrecke zugeschaltet. Da das Pneumatikventil der Versorgungseinheit eine Abzweigung zu dieser Druckluftversorgung besitzt, wird simultan mit der Druckluftversorgung der Beschleunigungsstrecke der Dosiereinheit das Pneumatikventil der Versorgungseinheit betätigt, so dass der Rücklauf in den Tank gesperrt wird. Die Pumpe fördert nun bis vor das Dosierventil in der Dosiereinheit. Das Ventil ist in diesem Rahmen jedoch noch geschlossen, sodass die Pumpe innerhalb von zehn Sekunden einen Vordruck aufbauen kann. Dieser ist nötig, damit der PI-Differenzdruckregler später den nötigen Differenzdruck aufbauen kann.

Der fünfte Rahmen stellt den eigentlichen Bereich der Prüfung dar. Das Dosierventil der Dosiereinheit wird geöffnet, und der Differenzdruckregler stellt den nötigen Differenzdruck von 3000 mbar ein. Eine While-Schleife zählt die vom Bediener des Programms eingestellte Prüfdauer zurück auf Null und gibt die Restprüfdauer auf dem Frontpanel aus.

Im sechsten Rahmen werden alle zuvor eingeschalteten Geräte, mit Ausnahme des Dosierventils, wieder ausgeschaltet. Das Pneumatikventil der Versorgungseinheit öffnet sich wieder, sodass die Pumpe ihren Restdruck über den Tankrücklauf abbauen kann. Das Dosierventil bleibt zum Zwecke der Druckentlastung innerhalb der Dosiereinheit für 3 Sekunden geöffnet.

Der siebte Rahmen steuert das 5/2-Wegeventil an, die Spannvorrichtung gibt die Dosiereinheit wieder frei.

Gefolgt wird er vom achten Rahmen, der jedoch nur eine Wartezeit von 3 Sekunden darstellt. Hier soll gewährleistet werden, dass in der nachfolgenden zweiten Sensorüberprüfung wieder der reine Luftdruck an den Drucksensoren der Dosiereinheit anliegt.

Im neunten Rahmen werden das zweite Mal die Spannungswerte der Drucksensoren der Dosiereinheit ausgelesen und auf den beiden rot unterlegten, unteren Digitalanzeigen des Frontpanels ausgegeben. Diesmal wird vom Computer jedoch keine Meldung ausgegeben, da die Messung nun zu Ende ist.

Für sämtliche Wartezeiten und für Druckauf- bzw. Druckabbauzeiten ergibt sich in Summe eine Gesamtzeit von 161 Sekunden für das gesamte Prüfprogramm. Von diesen 161 Sekunden bildet die eigentliche Prüfung im fünften Rahmen der flachen Sequenzstruktur mit 120 Sekunden den Hauptteil. Im abschließenden zehnten Rahmen wird ein akustisches Signal über die Lautsprecher des Computers ausgegeben, um das Ende der Messung akustisch zu melden.

5.3 Datenerfassung und Datenverarbeitung

Das Blockschaltbild wird vom Compiler bei der Ausführung von links nach rechts durchlaufen. Parallel zu der oben beschriebenen flachen Sequenzstruktur in der großen Case-Struktur, wird die Messschleife (rot umrandeter Bereich mit der Nummer 5) ständig durchlaufen. In ihr werden sieben analoge Kanäle der PCMCIA- Karte mittels des graphischen Befehls „AI ONE PT“ ausgelesen. Diese sieben Kanäle übertragen die Messdaten der am Prüfstand befindlichen Messgeräte.

Die Messschleife ist in ihrer Grundstruktur eine While-Schleife, die so lange die Kanäle der Messgeräte ausliest, bis eine bestimmte Abbruchbedingung sie beendet. In diesem Fall ist das die bereits oben erwähnte globale Variable „Stopper“. Diese Variable tritt in Kraft, wenn der sechste Rahmen in der flachen Sequenzstruktur erreicht wird. Dadurch „frieren“ die angezeigten Messdaten auf dem Frontpanel ein; diese können abgelesen und in das Prüfprotokoll eingetragen werden.

Nach Einschalten der Versorgungsspannung benötigen der Corioliszähler, der Luftvolumenstrommesser sowie der Differenzdrucksensor eine halbstündige Aufwärmzeit. In dieser Zeit müssen sich die Messgeräte thermisch stabilisieren, um genaue Messwerte liefern zu können. Wird das Prüfprogramm gestartet, so dauert es ebenfalls wieder eine gewisse Zeit bis sich stabile Messwerte einstellen. Der Differenzdruckregler muss erst den genauen Differenzdruck einstellen, der Coriolis-Zähler unterliegt in den ersten Sekunden, nachdem das Testmedium begonnen hat in die Dosiereinheit zu strömen, noch relativ starken Schwankungen. Auch der Luftvolumenstromzähler benötigt einige Sekunden, um den genauen Wert anzuzeigen. Deshalb ist mit den genauen Messwerten erst zwanzig Sekunden nach Beginn des sechsten Fensters der Steuersequenz zu rechnen.

Bei der Ausführung des Prüfstandprogramms sind sofort nach Betätigung des Ausführungsbefehls des Programms Messwerte auf den Anzeigegeräten des Frontpanels zu sehen, auf denen die obigen Effekte zu beobachten sind.

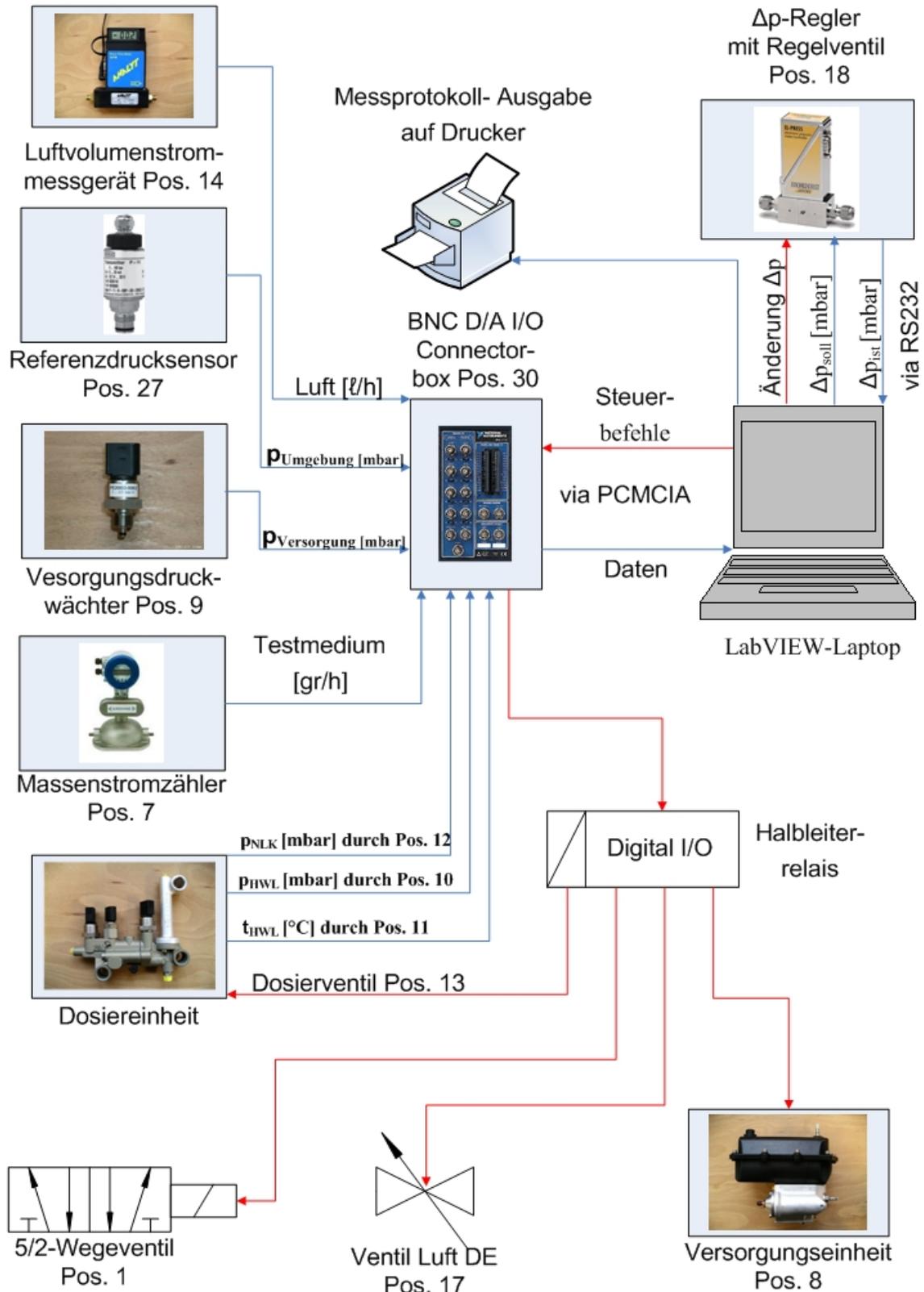


Abb. 5-4 Daten- und Steuerpfade des Prüfstandes

In obiger Abbildung (Abb. 5-4) sind sämtliche Bauteile des Prüfstandes dargestellt, die entweder vom Computer angesteuert werden, oder die für die Prüfung der Dosiereinheit relevante Messdaten liefern. Die PCMCIA-Karte im Laptop ist über ein abgeschirmtes Kabel mit der BNC Connector-Box verbunden. Diese Box dient lediglich dazu, die BNC-Kabel der Messgeräte sowie die Steuerleitungen für die anzusteuernenden Geräte anzuschliessen.

6 System-FMEA für den Prüfstand

Nach VDA Band 4.2 [15] handelt es sich bei einer FMEA um eine in die Fachbereiche integrierte entwicklungs- und planungsbegleitende Risikoanalyse. Die System-FMEA ist ein wichtiges methodisches Instrument, um frühzeitig mögliche Fehler, insbesondere bei neuen Konzepten, zu erkennen und diese zu vermeiden. Die Erstellung der System-FMEA sollte im Sinne des Simultaneous Engineering bereits zum frühest möglichen Zeitpunkt erfolgen, um die Erkenntnisse aus der Produktentwicklung in die Prozessentwicklung einfließen zu lassen. Sie gibt einen Überblick über den aktuellen Planungsstand und bewertet diesen.

Die System-FMEA ist eine Weiterentwicklung der Konstruktions- und Prozess-FMEA. Man unterscheidet die System-FMEA Produkt und die System-FMEA Prozess.

System-FMEA Produkt

Die System-FMEA Produkt betrachtet die möglichen Funktionsfehler ganzer Produkte. Die Fehleranalyse geht dabei vom Gesamtsystem (Produkt/Baugruppe) aus und umfasst die Analyse kritischer Bauteile (Einzelteil/Merkmal). Schwerpunkte der Fehleranalyse sind die Funktionen, die Zuverlässigkeit und die Herstellbarkeit.

System-FMEA Prozess

Bei der System-FMEA Prozess wird der Herstellungsprozess anhand der beteiligten Systemelemente Mensch, Maschine, Material und Mitwelt systematisch strukturiert und auf mögliche Fehler untersucht. Die Funktions- und Fehlerbetrachtungen werden, soweit erforderlich, bis in die Auslegungsdaten von Fertigungseinrichtungen durchgeführt. Ziel ist die Erkennung von potentiellen Fehlern während des Herstellungsprozesses. Schwerpunkte sind dabei die Untersuchung der geplanten Herstellungs- und Prüfverfahren auf ihre Eignung.

Die Erstellung einer System-FMEA ist grundsätzlich in 5 Schritte gegliedert:

1. Schritt: Systemelemente und Systemstruktur erfassen
2. Schritt: Funktionen und Funktionsstruktur festlegen
3. Schritt: Fehleranalyse durchführen
4. Schritt: Risikobewertung
5. Schritt: Optimierung

Systemelemente und Systemstruktur erfassen

Das Gesamtsystem wird in seine einzelnen Systemelemente (SE) zerlegt und zur Beschreibung in einer Systemstruktur (Strukturbaum) hierarchisch angeordnet und dargestellt. Die eindeutig strukturierte Abbildung des Gesamtsystems wird dadurch sichergestellt, dass jedes SE nur einmal existiert. Bei der System-FMEA Prozess erfolgt die Strukturanalyse ausgehend vom Gesamtprozess über Teilprozesse bis in die einzelnen Arbeitsgänge.

Funktionen und Funktionsstruktur festlegen

Auf Basis der festgelegten Systemstruktur wird nun die Funktionsstruktur erstellt. Für jedes Systemelement werden Funktionen bzw. Aufgaben definiert, um somit einen funktionalen Überblick über das Gesamtsystem zu erhalten. Zusätzlich werden funktionale Zusammenhänge zwischen einzelnen Systemelementen als Schnittstellen gekennzeichnet. Die ermittelte Funktionsstruktur dient weiterhin als Grundlage für die Fehlerermittlung.

Fehleranalyse durchführen

Bei der Fehleranalyse werden aus den bekannten Funktionen und Funktionsstrukturen mögliche Fehlfunktionen abgeleitet und deren Zusammenhang im Fehlernetz dargestellt. Die so entstandenen möglichen potentiellen Fehler, ihre Folgen sowie die Ursachen werden in das System-FMEA Formblatt übertragen. An die Durchführung der Fehleranalyse schließt sich die Risikobewertung an.

Risikobewertung

Das Risiko jeder Fehlerursache wird bewertet. Hierzu werden die im Entwicklungs- und Planungsstand bereits vorhandenen Vermeidungs- und Entdeckungsmaßnahmen herangezogen und bewertet. Das Ergebnis dieser Bewertung ist die Risikoprioritätszahl (RPZ). Sie setzt sich aus den Faktoren B, A und E zusammen. B steht für die Bedeutung der Fehlerursache für das Gesamtsystem und damit für den Kunden. A ist der Faktor für die Auftretenswahrscheinlichkeit der Fehlerursache und E steht für die Entdeckungswahrscheinlichkeit der aufgetretenen Fehlerursache. Für diese drei Faktoren werden jeweils Bewertungszahlen von 10 bis 1 verwendet und die Risikoprioritätszahl durch Multiplikation errechnet: $RPZ = B \times A \times E$. Durch hohe RPZ oder hohe Einzelbewertungen werden die kritischen Systemelemente identifiziert und

es kann entschieden werden, wie eine Optimierung erfolgen kann. Die Bewertung erfolgt anhand der Bewertungstabelle aus VDA 4.2.

Bewertungszahl für die Bedeutung B	Bewertungszahl für die Auftretenswahrscheinlichkeit A	Zugeordneter Fehleranteil in ppm	Bewertungszahl für die Entdeckungswahrscheinlichkeit E	Sicherheit der Prüfverfahren
Sehr hoch 10 Sicherheitsrisiko, Nichterfüllung 9 gesetzlicher Vorschriften, Liegenbleiber	Sehr hoch 10 Sehr häufiges Auftreten der Fehlerursache, unbrauchbarer, ungeeigneter Prozess	100.000 50.000	Sehr gering 10 Entdecken der aufgetretenen 9 Fehlerursache ist unwahrscheinlich, die Fehlerursache wird oder kann nicht geprüft werden	90 %
Hoch 8 Funktionsfähigkeit im Fahrzeug 7 stark eingeschränkt, sofortiger Werkstattaufenthalt zwingend erforderlich, Funktionseinschränkung wichtiger Teilsysteme	Hoch 8 Fehlerursache tritt 7 wiederholt auf, ungenauer Prozess	20.000 10.000	Gering 8 Entdecken der aufgetretenen 7 Fehlerursache ist weniger wahrscheinlich, wahrscheinlich nicht zu entdeckende Fehlerursache, unsichere Prüfungen	95 %
Mäßig 6 Funktionsfähigkeit des 5 Fahrzeugs eingeschränkt, 4 sofortiger Werkstattaufenthalt nicht zwingend erforderlich, Funktionseinschränkung von wichtigen Bedien- und Komfortsystemen	Mäßig 6 Gelegentlich auftretende 5 Fehlerursache weniger 4 genauer Prozess	5.000 2.000 1.000	Mäßig 5 Entdecken der aufgetretenen 4 Fehlerursache ist wahrscheinlich, Prüfungen sind relativ sicher	99,7 %
Gering 3 Geringe 2 Funktionsbeeinträchtigung des Fahrzeugs, Beseitigung beim nächsten planmäßigen Werkstattaufenthalt, Funktionseinschränkung von Bedien- und Komfortsystemen	Gering 3 Das Auftreten der 2 Fehlerursache gering, genauer Prozess ist	100 50	Hoch 6 Entdecken der aufgetretenen 5 Fehlerursache ist sehr 4 wahrscheinlich, Prüfungen sind sicher, z.B. mehrere voneinander unabhängige Prüfungen	99,9 %
Sehr gering 1 Sehr geringe Funktionsbeeinträchtigung, nur vom Fachpersonal erkennbar	Sehr gering 1 Auftreten der Fehlerursache ist unwahrscheinlich	1	Sehr hoch 1 Aufgetretene Fehlerursache wird sicher entdeckt	99,99 %

Tab. 6-1 Kriterien für Bewertungszahlen der System-FMEA Produkt/Prozess

Optimierung

Wird bei der RPZ ein gewisser Grenzwert überschritten oder es werden hohe Einzelbewertungen erreicht, müssen Abstellmaßnahmen eingeleitet werden, um die Fehlerursache auszuschließen. Im Weiteren können Maßnahmen zur Erhöhung der Konzeptzuverlässigkeit ergriffen werden, um das Auftreten der Fehlerursache zu minimieren. Als weitere Möglichkeit können Wege zur wirksameren Entdeckung der Fehlerursachen festgelegt werden, wobei zusätzliches Prüfen möglichst vermieden werden sollte. Für diese Maßnahmen sind im Formblatt jeweils der Verantwortliche und der Termin für die Erledigung anzugeben.

6.1 FMEA bezogen auf den Prüfstand

Zuerst wurde für den Prüfstand eine System-FMEA Produkt erstellt. Hierbei wurde der Prüfstand in seine Komponenten zerlegt, denen Funktionen zugeordnet wurden. Dabei wurde das wesentliche Augenmerk auf die für die Überprüfung der DE relevanten Komponenten gelegt und auf mögliche Fehler untersucht. Die Erkenntnisse aus der System-FMEA Produkt sind in die System-FMEA Prozess mit eingeflossen.

Die Strukturbäume, Formblätter und die Differenzanalysen der System-FMEA Produkt und der System-FMEA Prozess befinden sich im Anhang dieser Arbeit (A.1, A.2).

6.2 Ergebnisse der FMEA

Der Schwerpunkt der beiden FMEA ist die Schnellspanvorrichtung. Mit ihrer hohen RPZ von 84 in der System-FMEA Produkt und einer RPZ von 216 in der System-FMEA Prozess bildet sie den kritischen Punkt in der Fertigung sowie der Bedienung des Prüfstandes.

Die Differenzanalysen zeigen die ermittelten RPZ in geordneter absteigender Reihenfolge. Sollte die zu testende DE durch die Spannvorrichtung nicht korrekt positioniert werden; oder sollte der Bediener die DE in den Prüfstand einbringen, ohne die Verschlussstopfen abzuschrauben, entsteht die höchste Gefährdung für die Schnellspanvorrichtung.

Eine falsches Positionieren/Spannen der DE kann durch mangelnde Ausrichtung der Schnellspanvorrichtung bei der Montage entstehen (z.B. wenn die Hauptachsen der Andruckstutzen nicht deckungsgleich mit denen der DE sind). Dadurch könnten die Andruckkegel nicht in die Bohrungen der DE sondern in deren Material fahren.

Sollte der Bediener vergessen, die Verschlussstopfen von der DE zu schrauben, so besteht die Gefahr, dass die Andruckkegel in diese hineinfahren.

Diese beiden Punkte sind die wichtigsten, die beachtet werden müssen, um irreparable Schäden an der Schnellspanvorrichtung und somit am Prüfstand zu verhindern.

Weiterhin wichtig sind Punkt 4 in der System-FMEA Produkt, sowie Punkt 2 in der FMEA Prozess.

Punkt 4 der FMEA Produkt zeigt eine mögliche ungenaue Positionierung der DE auf, wodurch die Möglichkeit besteht, dass das Testmedium austreten könnte. Dies gilt es auf jeden Fall zu vermeiden, da sich empfindliche elektronische Geräte im Umfeld befinden könnten.

Auch ist es für die Prüfung der DE von äußerster Wichtigkeit, dass der Bediener während der Prüfung den eingestellten Differenzdruck regelmäßig kontrolliert, da es sonst zu erheblichen Verfälschungen der Prüfungsergebnisse kommen kann.

Fehlervermeidungsmaßnahmen:

- System-FMEA Produkt
 - Es sollten immer bewährte Bauteile/Techniken verwendet werden. Seit geraumer Zeit sind bereits einige der am Prüfstand verwendbaren Bauteile (Schnellverbinder, Schraubanschlüsse) bei Purem im Einsatz.
 - Der Zusammenbau sollte von Mitarbeitern unternommen werden, die sich der Fehlermöglichkeiten bewusst sind.
 - Prozessaudits für den Prüfstand sind sinnvoll.

- System-FMEA Prozess
 - Es sollten ausschließlich Mitarbeiter am Prüfstand arbeiten, die vom Ablauf der Prüfprozedur (Prüfstand und Computer) und möglicher Fehlerquellen unterrichtet worden sind.
 - Die Aktualisierung einer jederzeit zugänglichen und immer am Prüfstand befindlichen Prüfanweisung ist sinnvoll.
 - Auch wenn der eingeregelter Differenzdruck nur durch einen leeren Testmediumstank abfallen kann und die Prüfung vollautomatisch abläuft, so sollte der Prüfstand während einer Prüfung nie unbeaufsichtigt sein.

7 Vergleich des neuen Prüfstands mit einem bestehenden

In den Laboren der Firma Purem wird bereits ein Prüfstand betrieben (Abb. 7-1). Der wesentliche Unterschied ist, dass es sich hierbei um ein stationäres Modell handelt. Jedoch gibt es mehrere weitere Unterschiede zwischen den beiden Prüfständen, die nun aufgeführt werden.

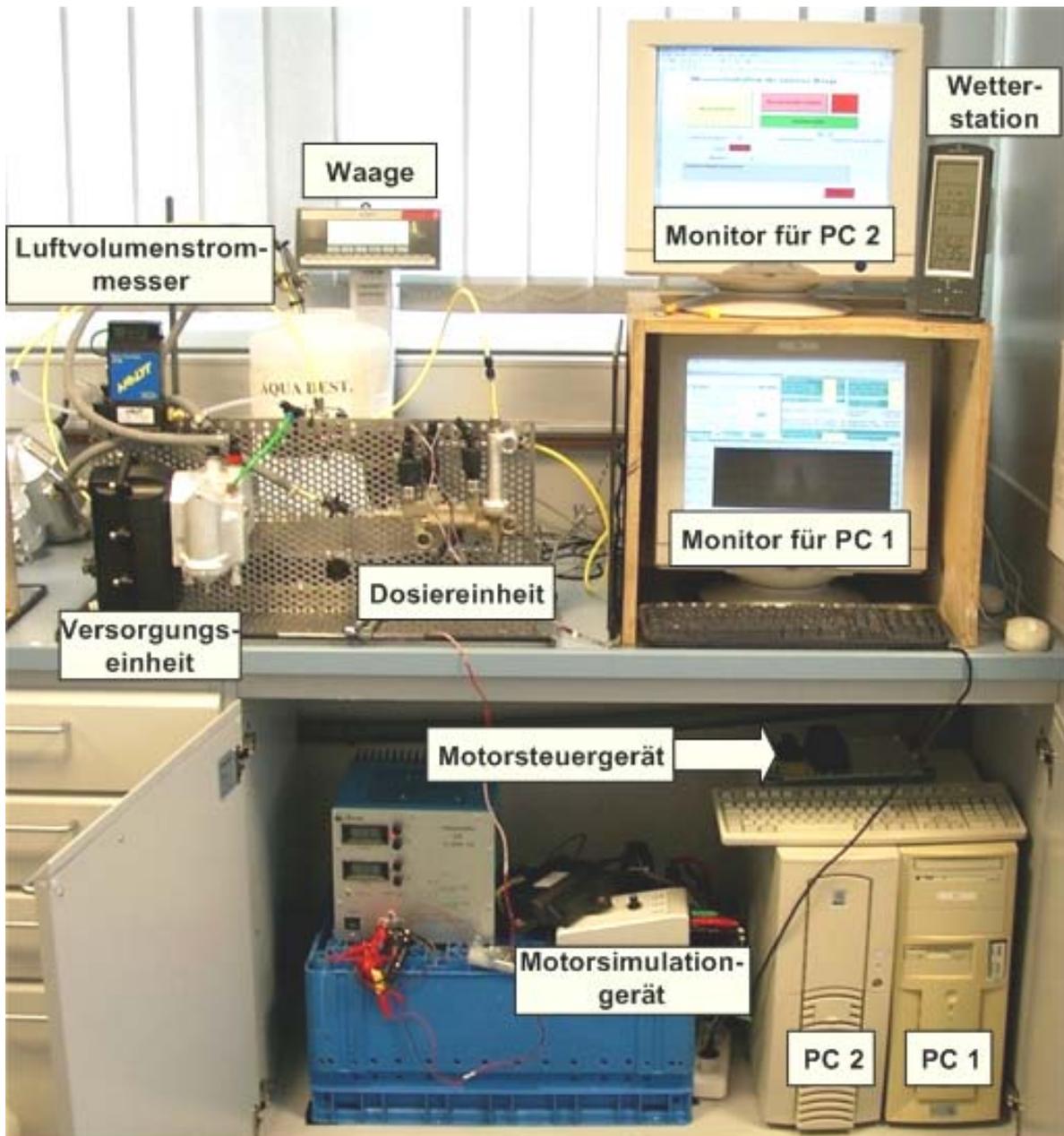


Abb. 7-1 Laborprüfstand

Der Laborprüfstand wird mit zwei PCs betrieben. PC 1 dient der Messdatenerfassung (HWL-Druck, HWL-Temperatur, NLK-Druck sowie dem Differenzdruck). Zu diesem

Zweck ist auf diesem PC die Motormanagementsoftware MARC[®] installiert, in der die obigen Messwerte abgelesen werden können.

Der Durchsatz des Testmediums wird bei diesem Prüfstand nicht durch einen Massensstromzähler ermittelt, sondern mittels einer Waage gravimetrisch erfasst. Der PC 2 mit seiner seriellen Schnittstelle und einem Waageprogramm dient zur Erfassung des Testmediumdurchsatzes. Im Prüfprotokoll wird dann mit der gewogenen Masse des dosierten Testmediums und der Prüfdauer der Massenstrom ermittelt.

Die beiden Monitore dienen zur Darstellung der Motormanagementsoftware MARC[®] und des Waagenprogramms, indem die dosierte Testmediumsmasse ausgegeben wird.

Ein weiterer wesentlicher Unterschied besteht in der Einstellung des Differenzdruckes in der Dosiereinheit. Wird bei dem mobilen Prüfstand der Differenzdruck vollautomatisch durch den Differenzdruckregler eingestellt und über die gesamte Prüfdauer verlässlich gehalten, so bedarf es bei diesem Prüfstand einer Feindrossel, die kontinuierlich vom Bediener eingestellt werden muss. Zu diesem Zweck beobachtet der Bediener den unter MARC[®] angezeigten Differenzdruck und regelt diesen dann manuell mit der Feindrossel nach.

Diese und weitere Unterschiede zeigt die Tabelle (Tab. 7-1).

Merkmal	Mobiler Prüfstand	Prüfstand Labor
Einsatzmöglichkeit	Mobil (Rollwagen/Pkw)	Stationär im Labor
Steuerung	1 Laptop	2 PC
Einbringen DE in den Prüfstand	Halbautomatisch	Manuell
Regeln des Differenzdruckes	Vollautomatisch	Manuell
Benötigte Software	Prüfstandskontrollprogramm/EXEL	MARC [®] , Waagenprogramm, EXEL
Archivierung der Messergebnisse und Ausgabe des Prüfprotokolls	Kann automatisiert werden	Manuell
Freigeben der DE nach Prüfung	Vollautomatisch	Manuell

Einschalten der Perefriergeräte des Prüfstandes	Vollautomatisch	Manuell
Fehlerwahrscheinlichkeit während der Prüfung	Unwahrscheinlich, da während der Prüfung nicht vom Bediener eingegriffen werden muss	Besteht, da Bediener ständig Differenzdruck nachregeln muss
Bedienbarkeit	Gut, da zu Beginn der Prüfung nur einmal der Differenzdruck eingestellt werden muss	Kontinuierliche Überwachung des Differenzdrucks auf dem Monitor → Ermüdung des Bedieners → Fehlerquelle

Tab. 7-1 Unterschiede der Prüfstände

7.1 Vergleich der Messgenauigkeit

Die Messdaten der Dosiereinheiten, die auf dem Laborprüfstand ermittelt wurden, bilden die Referenzwerte, mit denen die Messdaten des mobilen Prüfstandes verglichen werden.

Nummer Dosiereinheit	Durchsatz HWL Labor [g/h]	Durchsatz Luft Labor [l/h]	Durchsatz HWL mobiler Prüfstand [g/h]	Durchsatz Luft mobiler Prüfstand [l/h]	Differenz Labor mobiler Prüfstand [g/h]	Abweichung Prüfstand Labor vom Sollwert 10068 g/h [%]	Abweichung mobiler Prüfstand vom Sollwert 10068 g/h [%]
ED 270030	9772,43	21,20	9426	20,79	346,43	-2,94	-6,38
ED 270031	10090,12	20,80	9700	20,66	390,12	0,22	-3,66
ED 270032	9886,97	20,90	9556	20,62	330,97	-1,80	-5,09
ED 270033	9941,97	20,80	9545	20,87	396,97	-1,25	-5,19
ED 270035	9939,16	21,00	9554	21,00	385,16	-1,28	-5,11
ED 270036	10142,68	21,10	9758	21,16	384,68	0,74	-3,08
ED 270038	9778,00	21,30	9428	21,13	350,00	-2,88	-6,36
ED 270039	9971,00	21,30	9632	21,33	339,00	-0,96	-4,33
ED 270040	9962,00	21,10	9563	21,31	399,00	-1,05	-5,02
ED 270041	9916,00	20,80	9563	21,03	353,00	-1,51	-5,02

Tab. 7-2 Messdaten des mobilen und des Laborprüfstands

Die Tabelle (Tab. 7-2) gibt eine Messreihe von Dosiereinheiten wieder, die auf dem Laborprüfstand und im Anschluss direkt auf dem mobilen Prüfstand vermessen wur-

den. Zeigen sich bei den ermittelten Luftdurchsätzen kaum Unterschiede, so ergab sich bei den ermittelten Durchsätzen des Testmediums doch ein deutlicher Unterschied. Im Durchschnitt erfasst der mobile Prüfstand einen um 376,53 g/h geringeren Massenstrom als der Laborprüfstand.

Dies ergibt sich aus der Tatsache, dass der mobile Prüfstand noch keiner Kalibrierung unterzogen worden ist. Es wurde bis zum Abschluss dieser Arbeit kein Abgleich der Systemkomponenten (wie z. B. die Sensoren und Messgeräte zu dem Steuerungscomputer mit dem Labview-Programm) gemacht. Dieses hätte den Rahmen dieser Arbeit überstiegen und muss in nachfolgenden Modifikationen noch vollzogen werden.

Darüber hinaus konnte bei einem Netzteil der Spannungsversorgung ein gravierendes Problem der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) festgestellt werden. Die Abschirmung des Netzteiles ist für die vorgesehene Anwendung nicht ausreichend. Die Messsignale der Sensoren der DE und des Coriolis-Zählers reagieren sehr empfindlich auf diese EMV-Problematik. Dadurch werden die durch das Steuerungsprogramm erfassten Druckwerte der DE verfälscht. Dies beeinflusst wiederum die Bildung des Differenzdruckes in der DE.

Um die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse zu verifizieren, wurde eine Messreihe von fünfzig Messungen einer einzelnen DE am mobilen Prüfstand vorgenommen. Diese DE wurde zuvor als Kontrolle am Laborprüfstand für gut befunden. Der gemessene Durchsatz des Testmediums lag bei 10149 g/h (Abweichung vom Sollwert +0,8 %), der Luftvolumenstrom bei 21 l/h. Diese durch den Labor Prüfstand ermittelten Werte lagen damit alle innerhalb der definierten Toleranzen.

Der mobile Prüfstand hat im Durchschnitt eine Minderdosierung von -4,11 % ermittelt. Damit liegt die Abweichung zwar immer noch in der Toleranz von ± 5 %, jedoch ist dies für die Qualitätssicherung nicht akzeptabel.

Die unten stehende Abbildung (Abb. 7-2) zeigt die graphische Darstellung der fünfzig Messungen des mobilen Prüfstandes der erwähnten Dosiereinheit. Es zeigt sich, dass die ermittelten Durchsätze mit einer relativ hohen Genauigkeit reproduziert werden können.

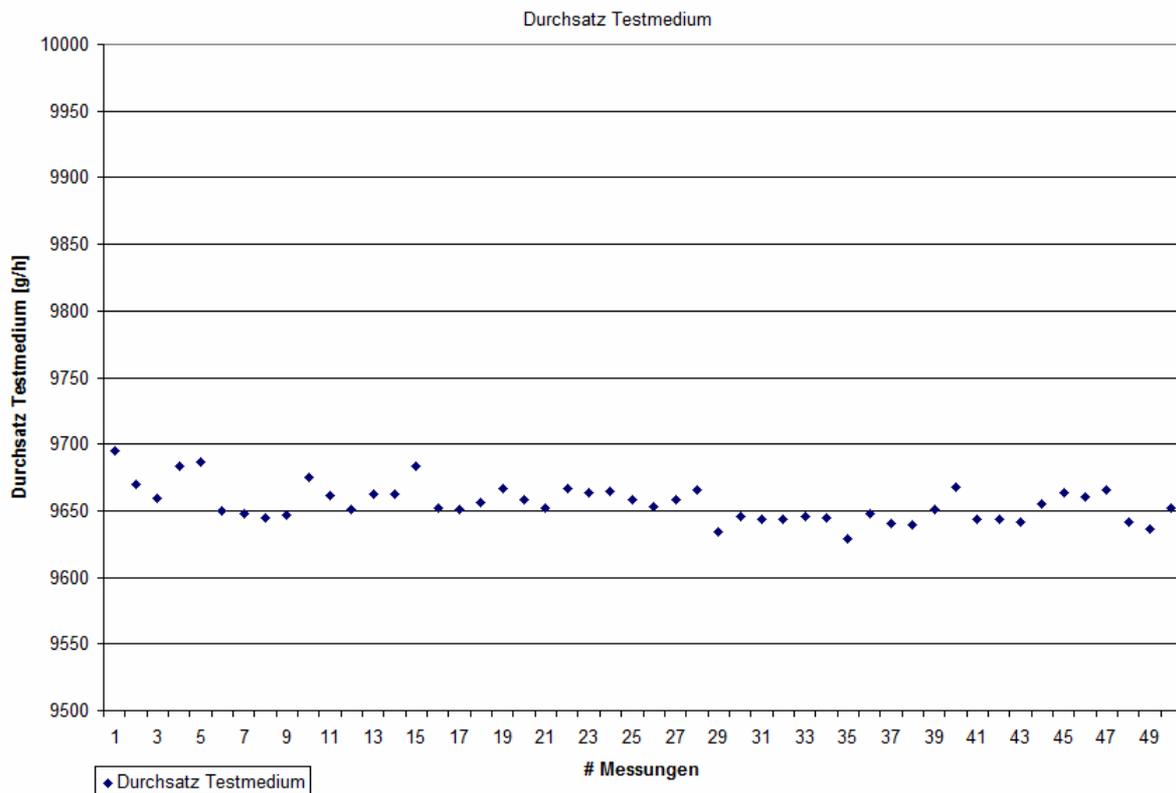


Abb. 7-2 Ermittelte Testmedium-Durchsätze des mobilen Prüfstandes

7.2 Möglichkeiten zur Verbesserung

Zunächst sollte die EMV-Problematik gelöst werden. Danach kann man bessere Messsignale der Sensoren und der Messgeräte erwarten. Die gemessenen Minderdosierungen sollten sich dadurch korrigieren lassen. Abhilfe können hier Netzfilter liefern. Diese ermöglichen es, Störungen, die sich in der Versorgungsspannung befinden, herauszufiltern, bevor sie in die Netzteile des Prüfstandes gelangen und die Störungen dieser noch weiter verstärken.

Die Netzteile, die im Pkw zur Anwendung kommen sollen, sind ebenfalls in ihrer Spannungsqualität zu überprüfen. Dadurch kann sichergestellt werden, dass die durch den Prüfstand gewonnenen Messergebnisse mit denen übereinstimmen, die ermittelt wurden, als der Prüfstand am hausinternen Netz betrieben wurde.

Zudem sollten Messprotokolle des Herstellers der DE für Referenzdaten hinzugezogen werden.

Die in Labview eingebundenen Messkanäle können zusätzlich noch kalibriert werden. Der Anbieter von Labview bietet zu diesem Zweck den so genannten „Measurement and Automation Explorer“ an. In diesem können Datenkanäle genau definiert und kalibriert werden.

Die Erstellung eines Prüfprotokolls für die überprüften Dosiereinheiten kann in Labview automatisiert und der Bediener somit weiter entlastet werden. Tippfehler bei der Übertragung der Messdaten aus dem Frontpanel in das Prüfprotokoll können damit ausgeschlossen werden.

Es kann aus dem erstellten Prüfstandsprogramm eine so genannte Ausführbare Datei (*.EXE) erstellt werden. Dadurch ist es möglich, in Labview geschriebene Programme auf Computern auszuführen, die keine Lizenz für Labview Entwicklungsumgebung besitzen.

8 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war die Konstruktion, der Aufbau sowie die Inbetriebnahme eines Prüfstandes für ein Bauteil eines Abgasnachbehandlungssystems der Firma Purem in Unna. Der Prüfstand ermöglicht, die Funktionsüberprüfung von Dosiersystemen zur Eindosierung eines Reduktionsmittels in den Abgasstrang von Lkws.

Zuerst wurden die heute üblichen innermotorischen Maßnahmen zur Minimierung von Schadstoffen im Abgas stichpunktartig vorgestellt. Da diese für die Einhaltung zukünftiger, strengerer Abgasgrenzwerte allein nicht ausreichen werden, sind nachmotorische Maßnahmen notwendig. Einige dieser Maßnahmen zur Abgasnachbehandlung wurden im Anschluss an die innermotorischen erläutert.

Nach der Beschreibung des Abgasnachbehandlungssystems und seiner Komponenten wurde der Aufbau des Prüfstandes erläutert. Die wichtigsten Bauteile mit ihren Funktionen wurden dargelegt, die technische Realisierung wurde ebenfalls beschrieben.

Es konnte gezeigt werden, dass eine weitestgehende Automatisierung der Funktionsüberprüfung der Dosiereinheiten möglich ist. Die zu überprüfenden Bauteile können sicher gespannt und über den gesamten Verlauf der Prüfung verlässlich abgedichtet werden.

Ein weiterer Schwerpunkt lag in der Beschreibung der Steuerung des Prüfstandes mit der Entwicklungsumgebung Labview. Das für den Prüfstand in Labview verfasste Steuerungsprogramm wurde vorgestellt und es konnte gezeigt werden, dass Labview für solche Anwendungen gut geeignet ist. Außerdem wird durch die Automatisierung des Prüfstandes der Bediener entlastet und dadurch Messfehler durch Fehlbedienung reduziert. Die für die Ansteuerung des Prüfstands durch den Computer notwendigen Bauteile haben sich bewährt.

Die der Konstruktion vorangestellte FMEA hat schon bereits im Vorfeld ermöglicht, eventuelle Fehlerquellen aufzudecken und diese Feststellungen in die weiteren Überlegungen einfließen zu lassen.

In einem abschließenden Vergleich des Prüfstandes mit einem bereits im Hause der Firma Purem befindlichen Prüfstand wurden Differenzen bezüglich der gelieferten Messwerte aufgezeigt. Da die Maßnahmen, die den Prüfstand in seiner Messmittelfähigkeit hätten verbessern können, den Rahmen dieser Arbeit überstiegen hätten, wurden am Ende dieser Arbeit Vorschläge zur Optimierung unterbreitet.

9 Literaturverzeichnis

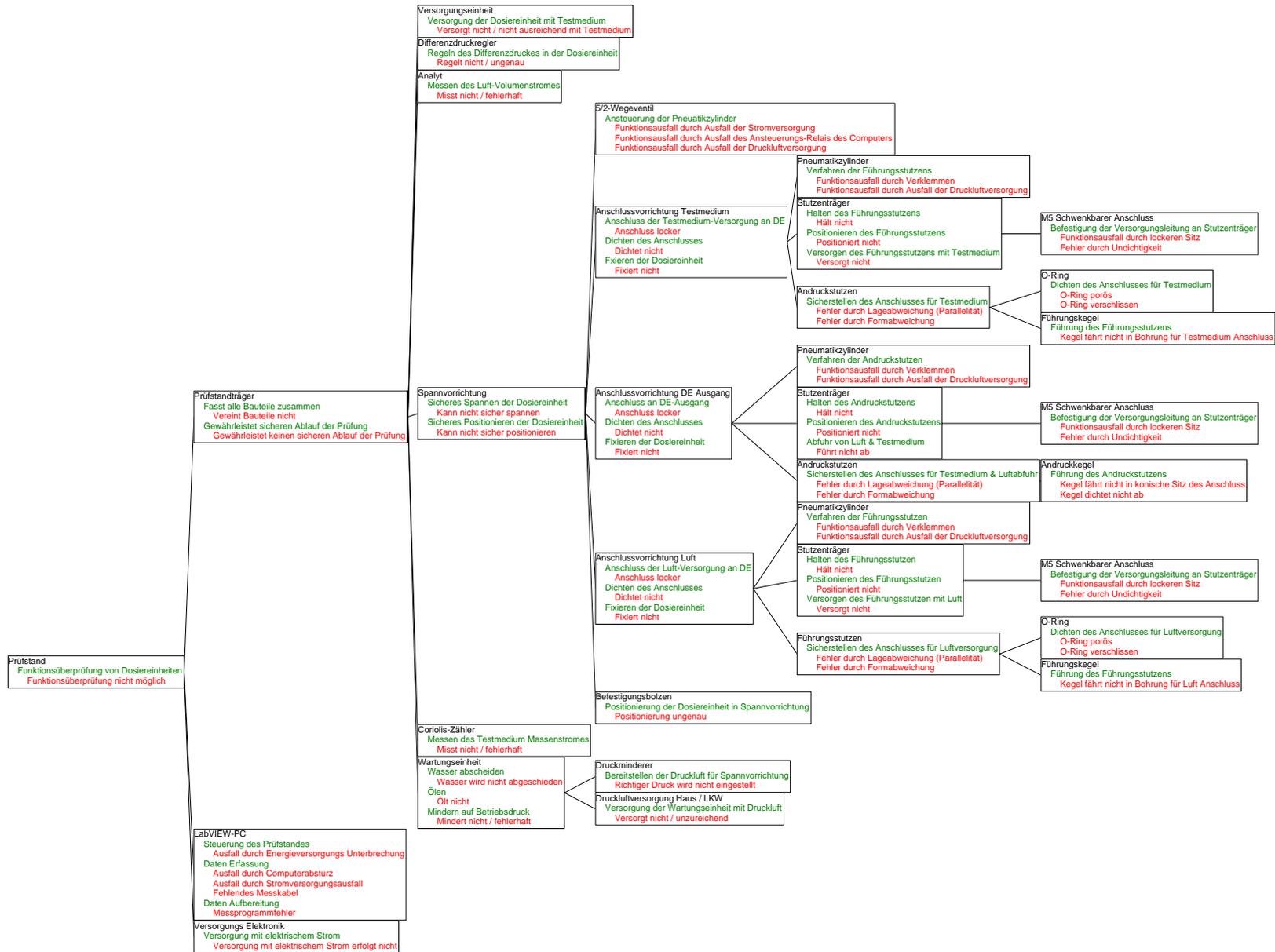
- [1] Robert Bosch GmbH Kraftfahrt Technisches Taschenbuch
22. Auflage, VDI Verlag
Stuttgart, 1995
- [2] Balzer, Ehlert u. a. Handbuch der Kfz-Technik Band 1
1. Auflage, Kieser Verlag GmbH
Neuäß, 1999
- [3] S. Pischinger Vorlesungsumdruck
Verbrennungsmotoren Band 2
21. Auflage
RWTH Aachen
Aachen, 2000
- [4] T. Schindler Diplomarbeit
Produktionsprozess- und Produkt-
Freigabeverfahren auf Basis der VDA 2
Fachhochschule Dortmund
Dortmund, 2004
- [5] Fa. ANALYT- MTC Bedienungsanleitung
für GFM 17 – 77
Müllheim, 2001
- [6] Fa. Bronckhorst Bedienungsanleitung
für Differenzdruckregler Modell P-506C
Ruurlo (Niederlande), 2004
- [7] Fa. Krohne Datenblatt
für Masse- Messgerät OPTIMASS MFS
7100
und Messumformer Converter MFC 050
Wellingborough (England), 2003
- [8] Jamal, Hagestedt Labview
Das Grunlagenbuch
3. Auflage Addison- Wesley
München, 2001
- [9] Fa. Krohne Internet Seite
<http://www.krohne.de>
- [10] G. Ehlert Vorlesungsumdruck
Regelungstechnik
1998
- [11] Internetseite [www.kfztech.de/images/kfztechnik/
diesel/abgasregen2.jpg](http://www.kfztech.de/images/kfztechnik/diesel/abgasregen2.jpg)

- [12] Verband der Automobilindustrie
e.V. Qualitätsmanagement in der Automobil-
industrie
Sicherung der Qualität vor Serieneinsatz
1. Auflage
Frankfurt/Main, März 1996

10 Anhang

- A.1 Strukturbaum der System FMEA Produkt
Formblätter für System FMEA Produkt
Differenzanalyse der System FMEA Produkt
- A.2 Strukturbaum der System FMEA Prozess
Formblätter für System FMEA Prozess
Differenzanalyse der System FMEA Prozess
- A.3 Blockschaltbild Prüfstandskontrollprogramm
- A.4 Schaltplan Elektrik
- A.5 Schaltplan Pneumatik und Hydraulik
- A.6 Schaltplan Regelkreis
- A.7 Auflistung Prüfstandsbauteile

Struktur



Struktur

DAIMLERCHRYSLER			F M E A System						Nummer: Seite: 1/1		
Typ/Modell/Fertigung/Charge: Struktur			Sachnummer: Maßnahmenstand:			Verantwortlich: Firma:			Erstellt: 15.01.2005		
FMEA/Systemelement: Prüfstandträger			Sach-Nummer: Maßnahmenstand:			Verantwortlich: Firma:			Erstellt: 25.04.2005 Verändert: 25.04.2005		
Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T	
Systemelement: Prüfstandträger											
Funktion: Fasst alle Bauteile zusammen											
[Prüfstand] Funktionsüberprü- fung nicht möglich			Vereint Bauteile nicht								
Funktion: Gewährleistet sicheren Ablauf der Prüfung											
			Gewährleistet keinen sicheren Ablauf der Prüfung	[Spannvorrichtung] Kann nicht sicher spannen							
				[Spannvorrichtung] Kann nicht sicher po- sitionieren							

03.04.2006

1/1

Struktur

DAIMLERCHRYSLER			F M E A Produkt						Nummer: Seite: 1/6		
Typ/Modell/Fertigung/Charge: Mobiler Prüfstand (MPS) für Dosiereinheiten			Sachnummer: Maßnahmenstand:		Verantwortlich: Jens Becker Firma: Purem			Erstellt: 15.01.2005			
FMEA/Systemelement: Spannvorrichtung			Sach-Nummer: Maßnahmenstand:		Verantwortlich: Jens Becker Firma: Purem			Erstellt: 25.04.2005 Verändert: 25.04.2005			
Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T	
Systemelement: Spannvorrichtung											
Funktion: Sicheres Spannen der Dosiereinheit											
[Prüfstandträger] Gewährleistet keinen sicheren Ablauf der Prüfung	7		Kann nicht sicher spannen	[5/2-Wegeventil] Funktionsausfall durch Ausfall der Stromversorgung	Anfangsstand: 25.04.2005						
					Einsatz bewährter Technik, Einfahrver- suche am Prüfstand	3	Keine Prüfung mög- lich, Ausfall der An- zeigen	1	21	Becker, Jens, Versuch 25.04.2005 abgeschlossen	
				[5/2-Wegeventil] Funktionsausfall durch Ausfall des An- steuerungs-Relais des Computers	Anfangsstand: 25.04.2005						
					Einsatz bewährter Technik	3	Keine Prüfung mög- lich, Andruckstutzen fahren nicht an DE	1	21	Becker, Jens, Versuch 25.04.2005 abgeschlossen	

03.04.2006

1/6

Struktur

Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T
^ [Prüfstandträger] Gewährleistet keinen sicheren Ablauf der Prüfung	^ 7		^ Kann nicht sicher spannen	[5/2-Wegeventil] Funktionsausfall durch Ausfall der Druckluftversorgung	Anfangsstand: 25.04.2005					
				Einsatz bewährter Technik	3	Keine Prüfung mög- lich, Andruckstutzen fahren nicht an DE	1	21	Becker, Jens, Versuch 25.04.2005 abgeschlossen	
				[Anschlussvorrich- tung Testmedium] Fixiert nicht	Anfangsstand: 25.04.2005					
				Einsatz bewährter Technik	5	Austritt von Testme- dium, Arbeitsdruck wird nicht aufgebaut, Anzeige im Prüf- standskntrollprog- ramm	1	35	Becker, Jens, Versuch 25.04.2005 abgeschlossen	
				[Anschlussvorrich- tung Testmedium] Anschluss locker	Anfangsstand: 25.04.2005					
				Einsatz bewährter Technik	3	Austritt von Testme- dium, Arbeitsdruck wird nicht aufgebaut, Anzeige im Prüf- standskntrollprog- ramm	1	21	Becker, Jens, Versuch 25.04.2005 abgeschlossen	
				[Anschlussvorrich- tung DE Ausgang] Anschluss locker	Anfangsstand: 25.04.2005					
				Einsatz bewährter Technik	3	Austritt von Testme- dium, Arbeitsdruck wird nicht aufgebaut, Anzeige im Prüf- standskntrollprog- ramm	1	21	Becker, Jens, Versuch 25.04.2005 abgeschlossen	

Struktur

Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T
^ [Prüfstandsträger] Gewährleistet keinen sicheren Ablauf der Prüfung	^ 7		^ Kann nicht sicher spannen	[Anschlussvorrich- tung DE Ausgang] Fixiert nicht	Anfangsstand: 25.04.2005					
				Einsatz bewährter Technik	3	Austritt Testmedium, Arbeitsdruck wird nicht aufgebaut, An- zeige im Prüf- standskntrollprog- ramm	1	21	Becker, Jens, Versuch 25.04.2005 abgeschlossen	
				[Anschlussvorrich- tung Luft] Anschluss locker	Anfangsstand: 25.04.2005					
				Einsatz bewährter Technik	3	Austritt von Druck- luft, Arbeitsdruck wird nicht aufgebaut, Anzeige im Prüf- standskntrollprog- ramm	4	(84)	Becker, Jens, Versuch 25.04.2005 unbearbeitet	
				[Anschlussvorrich- tung Luft] Fixiert nicht	Anfangsstand: 25.04.2005					
				Einsatz bewährter Technik	3	Austritt von Druck- luft, Arbeitsdruck wird nicht aufgebaut, Anzeige im Prüf- standskntrollprog- ramm	4	84	Becker, Jens, Versuch 25.04.2005 abgeschlossen	
				[Befestigungsbol- zen] Positionierung unge- nau	Anfangsstand: 25.04.2005					
				Konstruktive Ausle- gung des Bolzens	3	Sichtkontrolle Prüfer	2	42	Becker, Jens, Versuch 25.04.2005 abgeschlossen	

Struktur

Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T
Funktion: Sicheres Positionieren der Dosiereinheit										
[Prüfstandträger] Gewährleistet keinen sicheren Ablauf der Prüfung	7		Kann nicht sicher po- sitionieren	[5/2-Wegeventil] Funktionsausfall durch Ausfall der Stromversorgung	Anfangsstand: 25.04.2005					
				Einsatz bewährter Technik, Einfahrver- suche am Prüfstand	3	Keine Prüfung mög- lich, Ausfall der An- zeigen	1	21	Becker, Jens, Versuch 25.04.2005 abgeschlossen	
				[5/2-Wegeventil] Funktionsausfall durch Ausfall des An- steuerungs-Relais des Computers	Anfangsstand: 25.04.2005					
				Einsatz bewährter Technik	3	Keine Prüfung mög- lich, Andruckstutzen fahren nicht an DE	1	21	Becker, Jens, Versuch 25.04.2005 abgeschlossen	
				[5/2-Wegeventil] Funktionsausfall durch Ausfall der Druckluftversorgung	Anfangsstand: 25.04.2005					
				Einsatz bewährter Technik	3	Keine Prüfung mög- lich, Andruckstutzen fahren nicht an DE	1	21	Becker, Jens, Versuch 25.04.2005 abgeschlossen	
				[Anschlussvorrich- tung Testmedium] Anschluss locker	Anfangsstand: 25.04.2005					
				Einsatz bewährter Technik	3	Austritt von Testme- dium, Arbeitsdruck wird nicht aufgebaut, Anzeige im Prüf- stands-kntrollprog- ramm	1	21	Becker, Jens, Versuch 25.04.2005 abgeschlossen	

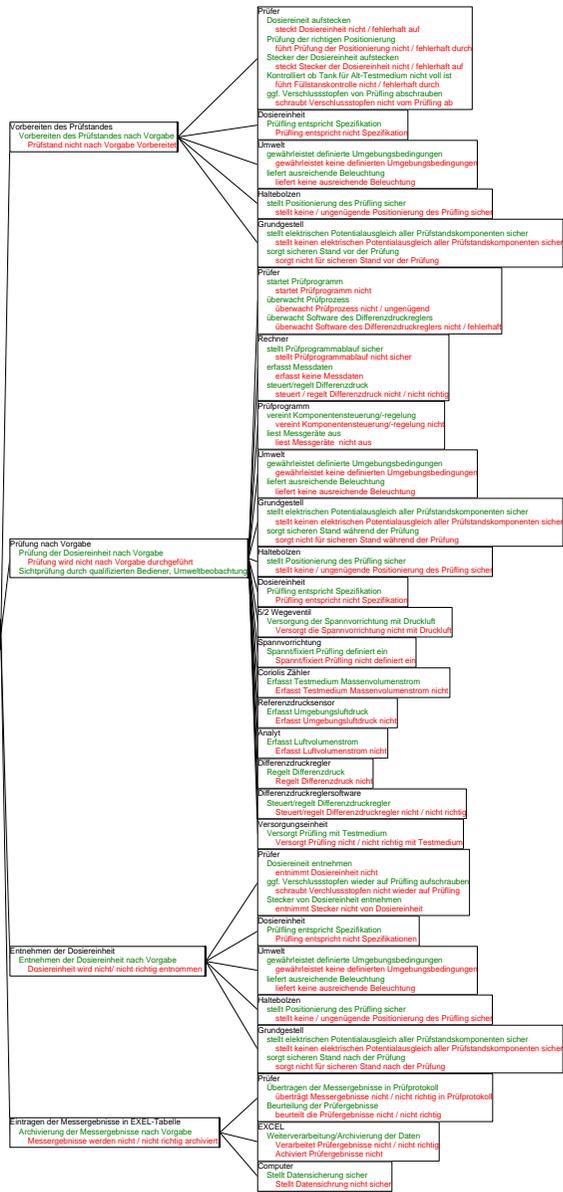
Struktur

Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T
^ [Prüfstandträger] Gewährleistet keinen sicheren Ablauf der Prüfung	^ 7		^ Kann nicht sicher po- sitionieren	[Anschlussvorrich- tung Testmedium] Fixiert nicht	Anfangsstand: 25.04.2005					
					Einsatz bewährter Technik	5	Austritt von Testme- dium, Arbeitsdruck wird nicht aufgebaut, Anzeige im Prüf- stands-kntrollprog- ramm	1	35	Becker, Jens, Versuch 25.04.2005 abgeschlossen
				[Anschlussvorrich- tung DE Ausgang] Anschluss locker	Anfangsstand: 25.04.2005					
					Einsatz bewährter Technik	3	Austritt von Testme- dium, Arbeitsdruck wird nicht aufgebaut, Anzeige im Prüf- stands-kntrollprog- ramm	1	21	Becker, Jens, Versuch 25.04.2005 abgeschlossen
				[Anschlussvorrich- tung DE Ausgang] Fixiert nicht	Anfangsstand: 25.04.2005					
					Einsatz bewährter Technik	3	Austritt Testmedium, Arbeitsdruck wird nicht aufgebaut, An- zeige im Prüf- stands-kntrollprog- ramm	1	21	Becker, Jens, Versuch 25.04.2005 abgeschlossen
				[Anschlussvorrich- tung Luft] Anschluss locker	Anfangsstand: 25.04.2005					

Struktur

Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T			
^ [Prüfstandträger] Gewährleistet keinen sicheren Ablauf der Prüfung	^ 7		^ Kann nicht sicher po- sitionieren	^ [Anschlussvorrich- tung Luft] Anschluss locker	Einsatz bewährter Technik	3	Austritt von Druck- luft, Arbeitsdruck wird nicht aufgebaut, Anzeige im Prüf- standskntrollprog- ramm	4	(84)	Becker, Jens, Versuch 25.04.2005 unbearbeitet			
				[Anschlussvorrich- tung Luft] Fixiert nicht	Anfangsstand: 25.04.2005								
					Einsatz bewährter Technik	3	Austritt von Druck- luft, Arbeitsdruck wird nicht aufgebaut, Anzeige im Prüf- standskntrollprog- ramm	4	84	Becker, Jens, Versuch 25.04.2005 abgeschlossen			
				[Befestigungsbol- zen] Positionierung unge- nau	Anfangsstand: 25.04.2005								
					Konstruktive Ausle- gung des Bolzens	3	Sichtkontrolle Prüfer	2	42	Becker, Jens, Versuch 25.04.2005 abgeschlossen			

Struktur



Struktur

DAIMLERCHRYSLER				F M E A Prozess						Nummer:		
								Seite:		1/3		
Typ/Modell/Fertigung/Charge: Mobiler Prüfstand (MPS) für Dosiereinheiten				Sachnummer:		Verantwortlich: Jens Becker		Erstellt:		05.04.2005		
				Maßnahmenstand:		Firma: Purem						
FMEA/Systemelement: Vorbereiten des Prüfstandes				Sach-Nummer:		Verantwortlich: Jens Becker		Erstellt:		07.04.2005		
				Maßnahmenstand:		Firma: Purem		Verändert:		19.04.2005		
Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T		
Systemelement: Vorbereiten des Prüfstandes												
Funktion: Vorbereiten des Prüfstandes nach Vorgabe												
[Prüfung Dosiereinheit] Stellt Funktionsfähigkeit der Dosiereinheit nicht fest	9		Prüfstand nicht nach Vorgabe vorbereitet	[Prüfer] steckt Dosiereinheit nicht / fehlerhaft auf	Anfangsstand: 07.04.2005							
					Mitarbeiterschulung, Prüfanweisung, Einsatz von qualifiziertem Personal	3	Sichtprüfung durch qualifizierten Bediener, Prozessaudit	4	108	Becker, Jens, Versuch 19.04.2005 abgeschlossen		
				[Prüfer] führt Prüfung der Positionierung nicht / fehlerhaft durch	Anfangsstand: 07.04.2005							
					Mitarbeiterschulung, Prüfanweisung, Einsatz von qualifiziertem Personal	3	Sichtprüfung durch qualifizierten Bediener, Prozessaudit	4	108	Becker, Jens, Versuch 19.04.2005 abgeschlossen		

03.04.2006

1/3

Struktur

Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T
^ [Prüfung Dosiereinheit] Stellt Funktionsfähigkeit der Dosiereinheit nicht fest	^ 9		^ Prüfstand nicht nach Vorgabe Vorbereitet	[Prüfer] steckt Stecker der Dosiereinheit nicht / fehlerhaft auf	Anfangsstand: 07.04.2005					
					Mitarbeiterschulung, Prüfanweisung, Einsatz von qualifiziertem Personal	3	Sichtprüfung, Fehlermeldung durch Prüfprogramm: Sensor n.i.O., Prozessaudit	1	27	Becker, Jens, Versuch 19.04.2005 abgeschlossen
				[Prüfer] schraubt Verschlussstopfen nicht vom Prüfling ab	Anfangsstand: 07.04.2005					
					Mitarbeiterschulung, Prüfanweisung, Einsatz von qualifiziertem Personal	6	Sichtprüfung durch qualifizierten Bediener, Prozessaudit	4	216	Becker, Jens, Versuch 19.04.2005 abgeschlossen
				[Dosiereinheit] Prüfling entspricht nicht Spezifikation	Anfangsstand: 07.04.2005					
					Einsatz bewährter Technik, qualitätssichernde Maßnahmen (Prüfkonzept, Gewährleistung der Cpk Forderungen) beim Lieferanten	2	Sichtprüfung durch qualifizierten Mitarbeiter, Prozessaudit	5	90	Becker, Jens, Versuch 19.04.2005 abgeschlossen
				[Umwelt] gewährleistet keine definierten Umgebungsbedingungen	Anfangsstand: 07.04.2005					
					geeigneter Aufstellungsort (Sonneneinstrahlung, starke Vibrationen vermeiden)	6	Sichtprüfung durch qualifizierten Bediener, Umweltbeobachtung	1	54	Becker, Jens, Versuch 19.04.2005 abgeschlossen

Struktur

Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T
^ [Prüfung Dosierein- heit] Stellt Funktionsfähig- keit der Dosiereinheit nicht fest	^ 9		^ Prüfstand nicht nach Vorgabe Vorbereitet	[Umwelt] liefert keine ausrei- chende Beleuchtung	Anfangsstand: 07.04.2005					
					Geeigneten Aufstel- lungsort wählen	3	Sichtprüfung durch qualifizierten Bedie- ner	3	81	Becker, Jens, Versuch 19.04.2005 abgeschlossen
				[Haltebolzen] stellt keine / ungenü- gende Positionierung des Prüfling sicher	Anfangsstand: 07.04.2005					
					Konstruktive Ausle- gung des Haltebol- zens, Einsatz be- währter Technik	2	Sichtprüfung durch qualifizierten Bedie- ner	2	36	Becker, Jens, Versuch 19.04.2005 abgeschlossen
				[Grundgestell] sorgt nicht für siche- ren Stand vor der Prüfung	Anfangsstand: 07.04.2005					
					Konstruktive Ausle- gung des Grundge- stells, Einsatz be- währter Technik	3	Sichtprüfung durch qualifizierten Bedie- ner	1	27	Becker, Jens, Versuch 19.04.2005 abgeschlossen
				[Prüfer] führt Füllstankont- rolle nicht / fehlerhaft durch	Anfangsstand: 07.04.2005					
					Mitarbeiterschulung, Prüfanweisung, Ein- satz von qualifizier- tem Personal	4	Sichtprüfung durch qualifizierten Bedie- ner	1	36	Becker, Jens, Versuch 19.04.2005 abgeschlossen

Struktur

DAIMLERCHRYSLER				F M E A Prozess						Nummer: Seite: 1/3	
Typ/Modell/Fertigung/Charge: Mobiler Prüfstand (MPS) für Dosiereinheiten				Sachnummer: Maßnahmenstand:		Verantwortlich: Jens Becker Firma: Purem		Erstellt: 05.04.2005			
FMEA/Systemelement: Entnehmen der Dosiereinheit				Sach-Nummer: Maßnahmenstand:		Verantwortlich: Jens Becker Firma: Purem		Erstellt: 20.04.2005 Verändert: 20.04.2005			
Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T	
Systemelement: Entnehmen der Dosiereinheit											
Funktion: Entnehmen der Dosiereinheit nach Vorgabe											
[Prüfung Dosierein- heit] Stellt Funktionsfähig- keit der Dosiereinheit nicht fest	9		Dosiereinheit wird nicht/ nicht richtig entnommen	[Prüfer] entnimmt Dosierein- heit nicht	Anfangsstand: 20.04.2005						
					Mitarbeiterschulung, Prüfanweisung, Ein- satz von qualifizier- tem Personal	2	Sichtprüfung durch qualifizierten Bedie- ner, Prozessaudit	2	36	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen	
				[Prüfer] schraubt Verchluss- stopfen nicht wieder auf Prüfling	Anfangsstand: 20.04.2005						
					Mitarbeiterschulung, Prüfanweisung, Ein- satz von qualifizier- tem Personal	2	Sichtprüfung durch qualifizierten Bedie- ner, Prozessaudit	2	36	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen	

03.04.2006

1/3

Struktur

Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T
^ [Prüfung Dosierein- heit] Stellt Funktionsfähig- keit der Dosiereinheit nicht fest	^ 9		^ Dosiereinheit wird nicht/ nicht richtig entnommen	[Prüfer] entnimmt Stecker nicht von Dosierein- heit	Anfangsstand: 20.04.2005					
					Mitarbeiterschulung, Prüfanweisung, Ein- satz von qualifizier- tem Personal	2	Sichtprüfung durch qualifizierten Bedie- ner, Prozessaudit	2	36	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen
				[Dosiereinheit] Prüfling entspricht nicht Spezifikationen	Anfangsstand: 20.04.2005					
					Einsatz bewährter Technik, qualitätssi- chernde Maßnahmen (Prüfkonzept, Ge- währleistung der Cpk Forderungen) beim Lieferanten	5	Sichtprüfung durch qualifizierten Mitar- beiter, Prozessaudit	2	90	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen
				[Umwelt] gewährleistet keine definierten Umge- bungsbedingungen	Anfangsstand: 20.04.2005					
					geeigneter Aufstel- lungsort (Sonnen- einstrahlung, starke Vibrationen vermei- den)	6	Sichtprüfung durch qualifizierten Bedie- ner, Umweltbeobach- tung	1	54	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen
				[Umwelt] liefert keine ausrei- chende Beleuchtung	Anfangsstand: 20.04.2005					
					Geeigneten Aufstel- lungsort wählen	3	Sichtprüfung durch qualifizierten Bedie- ner	3	81	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen

Struktur

Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T	
^ [Prüfung Dosierein- heit] Stellt Funktionsfähig- keit der Dosiereinheit nicht fest	^ 9		^ Dosiereinheit wird nicht/ nicht richtig entnommen	[Haltebolzen]	Anfangsstand: 20.04.2005						
				stellt keine / ungenü- gende Positionierung des Prüfling sicher	Konstruktive Ausle- gung des Haltebol- zens, Einsatz be- währter Technik	2	Sichtprüfung durch qualifizierten Bedie- ner	1	18	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen	
				[Grundgestell]	Anfangsstand: 20.04.2005						
				sorgt nicht für siche- ren Stand nach der Prüfung	Konstruktive Ausle- gung des Grundge- stells, Einsatz be- währter Technik	1	Sichtprüfung durch qualifizierten Bedie- ner	1	9	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen	

Struktur

DAIMLERCHRYSLER				F M E A System						Nummer: Seite: 1/2		
Typ/Modell/Fertigung/Charge: Struktur				Sachnummer: Maßnahmenstand:		Verantwortlich: Firma:		Erstellt: 05.04.2005				
FMEA/Systemelement: Prüfung Dosiereinheit				Sach-Nummer: Maßnahmenstand:		Verantwortlich: Firma:		Erstellt: 20.04.2005 Verändert: 20.04.2005				
Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T		
Systemelement: Prüfung Dosiereinheit												
Funktion: Feststellung der Funktionsfähigkeit der Dosiereinheit												
			Stellt Funktionsfähig- keit der Dosiereinheit nicht fest	[Vorbereiten des Prüfstandes] Prüfstand nicht nach Vorgabe vorbereitet								
				[Prüfung nach Vorga- be] Prüfung wird nicht nach Vorgabe durch- geführt								
				[Entnehmen der Do- siereinheit] Dosiereinheit wird nicht/ nicht richtig entnommen								

03.04.2006

1/2

Struktur

Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T
	^		^ Stellt Funktionsfähig- keit der Dosiereinheit nicht fest	[Eintragen der Mes- sergebnisse in EX- EL-Tabelle] Messergebnisse wer- den nicht / nicht rich- tig archiviert						

Struktur

DAIMLERCHRYSLER				F M E A Prozess						Nummer: Seite: 1/7	
Typ/Modell/Fertigung/Charge: Mobiler Prüfstand (MPS) für Dosiereinheiten				Sachnummer: Maßnahmenstand:		Verantwortlich: Jens Becker Firma: Purem		Erstellt: 05.04.2005			
FMEA/Systemelement: Prüfung nach Vorgabe				Sach-Nummer: Maßnahmenstand:		Verantwortlich: Jens Becker Firma: Purem		Erstellt: 19.04.2005 Verändert: 20.04.2005			
Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T	
Systemelement: Prüfung nach Vorgabe											
Funktion: Prüfung der Dosiereinheit nach Vorgabe											
[Prüfung Dosiereinheit] Stellt Funktionsfähigkeit der Dosiereinheit nicht fest	9		Prüfung wird nicht nach Vorgabe durchgeführt	[Prüfer] startet Prüfprogramm nicht	Anfangsstand: 19.04.2005						
					Mitarbeiterschulung, Prüfanweisung, Einsatz von qualifiziertem Personal	3	Prüfprozess findet nicht statt	1	27	Becker, Jens, Versuch 19.04.2005 abgeschlossen	
				[Prüfer] überwacht Prüfprozess nicht / ungenügend	Anfangsstand: 19.04.2005						
					Mitarbeiterschulung, Prüfanweisung, Einsatz von qualifiziertem Personal	3	Sichtprüfung fehlende / falsche Messwerte, Prozessaudit	6	162	Becker, Jens, Versuch 19.04.2005 abgeschlossen	

03.04.2006

1/7

Struktur

Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T
^ [Prüfung Dosierein- heit] Stellt Funktionsfähig- keit der Dosiereinheit nicht fest	^ 9		^ Prüfung wird nicht nach Vorgabe durch- geführt	[Prüfer] überwacht Software des Differenzdruck- reglers nicht / fehler- haft	Anfangsstand: 19.04.2005					
					Mitarbeiterschulung, Prüfanweisung, Ein- satz von qualifizier- tem Personal	3	Sichtprüfung fehlen- de / falsche Mess- werte, Prozessaudit	6	162	Becker, Jens, Versuch 19.04.2005 abgeschlossen
				[Rechner] stellt Prüfprogram- mablauf nicht sicher	Anfangsstand: 19.04.2005					
					Einsatz bewährter Software	2	Sichtprüfung fehlen- de / falsche Mess- werte, Fehlermel- dung an Bediener	6	108	Becker, Jens, Versuch 19.04.2005 abgeschlossen
				[Rechner] erfasst keine Mess- daten	Anfangsstand: 19.04.2005					
					Einsatz bewährter Messdatenerfassung (DAQ- Karte, BNC- Connector Block)	5	Sichtprüfung fehlen- de / falsche Mess- werte, Fehlermel- dung an Bediener	1	45	Becker, Jens, Versuch 19.04.2005 abgeschlossen
			[Rechner] steuert / regelt Diffe- renzdruck nicht / nicht richtig	Anfangsstand: 20.04.2005						
				Einsatz bewährter Messdatenverarbei- tungs Methoden, Mi- tarbeiterschulung, Einsatz von qualifi- ziertem Personal	8	Falscher Differenzd- ruck, Anzeige durch das Prüfstandsprog- ramm	1	72	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen	
			[Prüfprogramm] vereint Kompen- tensteuerung/-rege- lung nicht	Anfangsstand: 20.04.2005						

Struktur

Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T		
^ [Prüfung Dosierein- heit] Stellt Funktionsfähig- keit der Dosiereinheit nicht fest	^ 9		^ Prüfung wird nicht nach Vorgabe durch- geführt	^ [Prüfprogramm] vereint Komponen- tensteuerung/-rege- lung nicht	Einsatz bewährter Programmierungs Methoden	2	Anzeige Durch das Prüfstandsprog- ramm, evnt. findet Prüfung gar nicht statt	2	36	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen		
				[Prüfprogramm] liest Messgeräte nicht aus	Anfangsstand: 20.04.2005							
					Einsatz bewährter Messdatenübertra- gung, Einsatz von bewährter Versor- gungstechnik für Messgeräte, Einsatz bewährter Program- mierungs Methoden	4	Regelmäßige Sichtp- rüfung aller Datenü- bertragungs- und Spannungsversor- gungsleitungen, An- zeige durch das Prüf- standsprogramm (fehlende Messwer- te)	2	72	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen		
				[Umwelt] gewährleistet keine definierten Umge- bungsbedingungen	Anfangsstand: 20.04.2005							
					geeigneter Aufstel- lungsort (Sonne- neinstrahlung, starke Vibrationen vermei- den)	6	Sichtprüfung durch qualifizierten Bedie- ner, Umweltbeobach- tung	1	54	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen		
		[Umwelt] liefert keine ausrei- chende Beleuchtung	Anfangsstand: 20.04.2005									
			Geeigneten Aufstel- lungsort wählen	3	Sichtprüfung durch qualifizierten Bedie- ner	3	81	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen				

Struktur

Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T
^ [Prüfung Dosiereinheit] Stellt Funktionsfähigkeit der Dosiereinheit nicht fest	^ 9		^ Prüfung wird nicht nach Vorgabe durchgeführt	[Grundgestell] stellt keinen elektrischen Potentialausgleich aller Prüfstandskomponenten sicher	Anfangsstand: 20.04.2005					
					1	Sichtprüfung durch qualifizierten Bediener	5	45	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen	
				[Grundgestell] sorgt nicht für sicheren Stand während der Prüfung	Anfangsstand: 20.04.2005					
					1	Sichtprüfung durch qualifizierten Bediener	1	9	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen	
				[Haltebolzen] stellt keine / ungenügende Positionierung des Prüfling sicher	Anfangsstand: 20.04.2005					
					2	Sichtprüfung durch qualifizierten Bediener	1	18	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen	
				[Dosiereinheit] Prüfling entspricht nicht Spezifikation	Anfangsstand: 20.04.2005					
					5	Sichtprüfung durch qualifizierten Mitarbeiter, Prozessaudit	2	90	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen	

Struktur

Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T
^ [Prüfung Dosierein- heit] Stellt Funktionsfähig- keit der Dosiereinheit nicht fest	^ 9		^ Prüfung wird nicht nach Vorgabe durch- geführt	[5/2 Wegeventil] Versorgt die Spann- vorrichtung nicht mit Druckluft	Anfangsstand: 20.04.2005					
				Einsatz sicherer Ver- schlauchung / Verka- belung	3	Sichtprüfung durch qualifizierten Mitar- beiter	2	54	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen	
				[Spannvorrichtung] Spannt/fixiert Prüfling nicht definiert ein	Anfangsstand: 20.04.2005					
				Mitarbeiterschulung, Prüfanweisung, Ein- satz von qualifizier- tem Personal	4	Sichtprüfung durch qualifizierten Mitar- beiter	3	108	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen	
				[Coriolis Zähler] Erfasst Testmedium Massenvolumenst- rom nicht	Anfangsstand: 20.04.2005					
				Einsatz sicherer Ver- schlauchung / Verka- belung	2	Sichtprüfung durch qualifizierten Mitar- beiter, Anzeige durch das Prüf- standsprogramm (fehlende Messda- ten)	2	36	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen	
				[Referenzdrucksens- sor] Erfasst Umgebungs- luftdruck nicht	Anfangsstand: 20.04.2005					
				Einsatz sicherer Ver- schlauchung	2	Sichtprüfung durch qualifizierten Mitar- beiter, Anzeige durch das Prüf- standsprogramm (fehlende	2	36	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen	

Struktur

Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T
^ [Prüfung Dosierein- heit] Stellt Funktionsfähig- keit der Dosiereinheit nicht fest	^ 9		^ Prüfung wird nicht nach Vorgabe durch- geführt	[Analyt] Erfasst Luftvolu- menstrom nicht	Anfangsstand: 20.04.2005					
					Einsatz sicherer Ver- schlauchung / Verka- belung	2	Sichtprüfung durch qualifizierten Mitar- beiter, Anzeige durch das Prüf- standsprogramm (fehlende	1	18	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen
				[Differenzdruckreg- ler] Regelt Differenzd- ruck nicht	Anfangsstand: 20.04.2005					
					Einsatz bewährter Messdatenverarbei- tungs Methoden, Mi- tarbeiterschulung, Einsatz von qualifi- ziertem Personal	4	Anzeige durch das Prüfstandsprogramm	3	108	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen
				[Differenzdruckreg- lersoftware] Steuert/regelt Diffe- renzdruckregler nicht / nicht richtig	Anfangsstand: 20.04.2005					
					Einsatz bewährter Programmierungs Methoden	2	Anzeige durch das Prüfstandsprogramm	2	36	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen
				[Versorgungseinheit] Versorgt Prüfling nicht / nicht richtig mit Testmedium	Anfangsstand: 20.04.2005					
					Einsatz sicherer Ver- schlauchung / Verka- belung	3	Sichtprüfung durch qualifizierten Mitar- beiter, Anzeige durch das Prüf- standsprogramm (fehlender/mangelder Druck)	1	27	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen

Struktur

Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T
Funktion: Sichtprüfung durch qualifizierten Bediener, Umweltbeobachtung										

Struktur

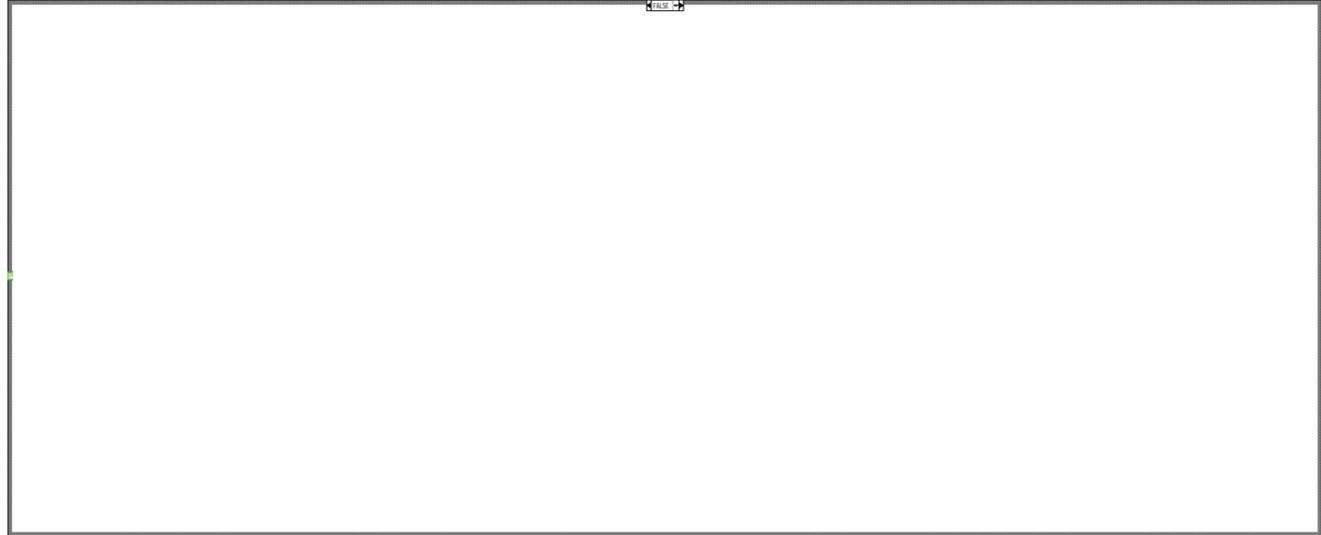
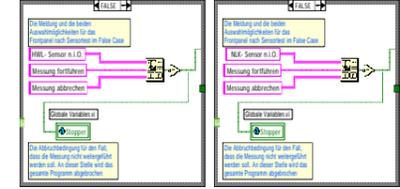
DAIMLERCHRYSLER				F M E A Prozess						Nummer:		Seite: 1/2	
Typ/Modell/Fertigung/Charge: Mobiler Prüfstand (MPS) für Dosiereinheiten				Sachnummer:		Verantwortlich: Jens Becker		Erstellt: 05.04.2005					
				Maßnahmenstand:		Firma: Purem							
FMEA/Systemelement: Eintragen der Messergebnisse in EXEL-Tabelle				Sach-Nummer:		Verantwortlich: Jens Becker		Erstellt: 20.04.2005		Verändert: 20.04.2005			
				Maßnahmenstand:		Firma: Purem							
Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T			
Systemelement: Eintragen der Messergebnisse in EXEL-Tabelle													
Funktion: Archivierung der Messergebnisse nach Vorgabe													
[Prüfung Dosiereinheit] Stellt Funktionsfähigkeit der Dosiereinheit nicht fest	9		Messergebnisse werden nicht / nicht richtig archiviert	[Prüfer] überträgt Messergebnisse nicht / nicht richtig in Prüfprotokoll	Anfangsstand: 20.04.2005								
					Mitarbeiterschulung, Prüfanweisung, Einsatz von qualifiziertem Personal	4	Fehlende Messdaten in Prüfbericht	1	36	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen			
				[EXCEL] Verarbeitet Prüfergebnisse nicht / nicht richtig	Anfangsstand: 20.04.2005								
					Einsatz von bewährter Software	2	Fehlende Messdaten in Prüfbericht	1	18	Becker, Jens, Versuch 20.04.2005 abgeschlossen			
				[EXCEL] Achiviert Prüfergebnisse nicht	Anfangsstand: 20.04.2005								
					Einsatz von bewährter Software	2	Fehlende Prüfberichte / Daten in Archiv	1	18	Becker, Jens, Versuch			

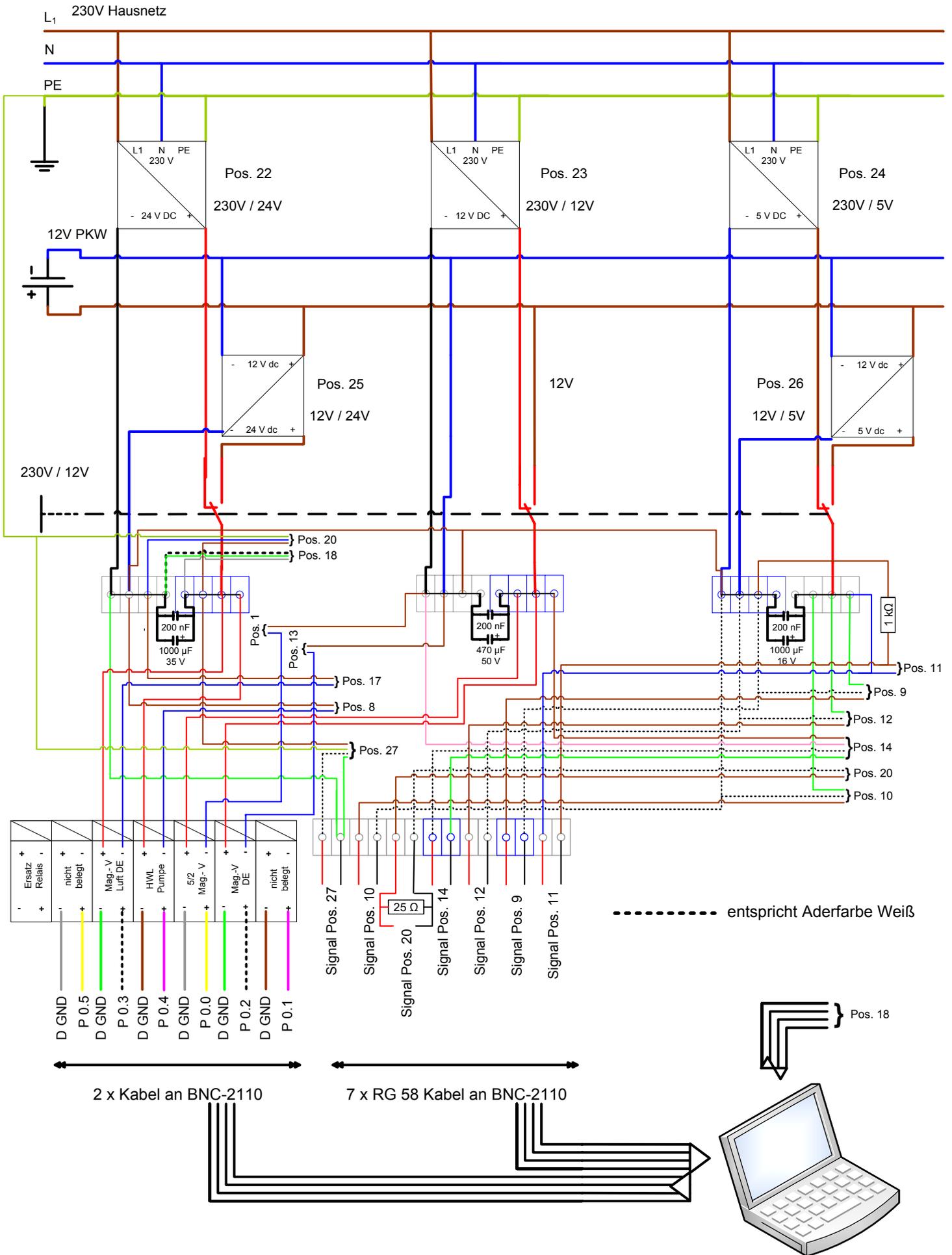
03.04.2006

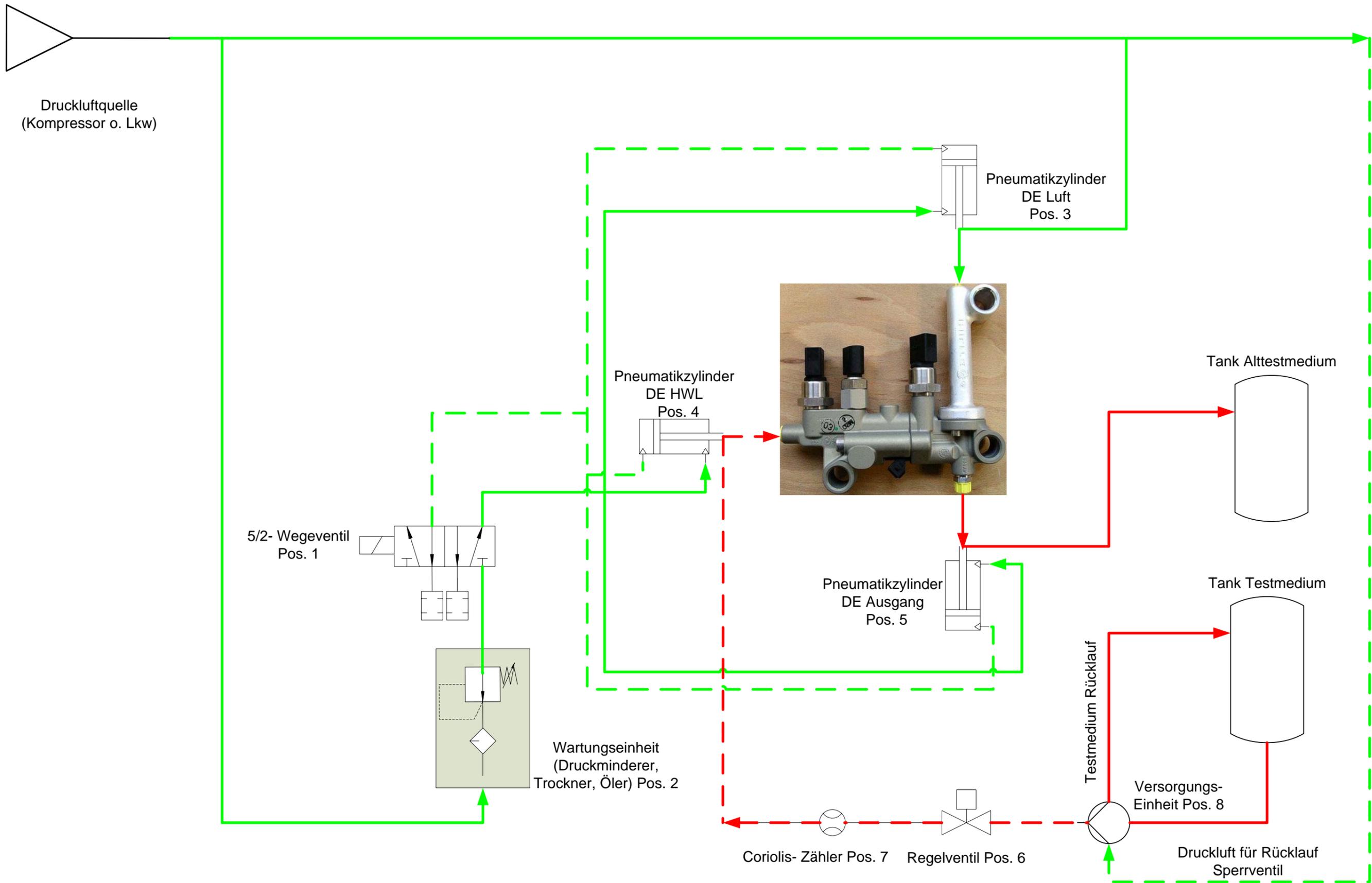
1/2

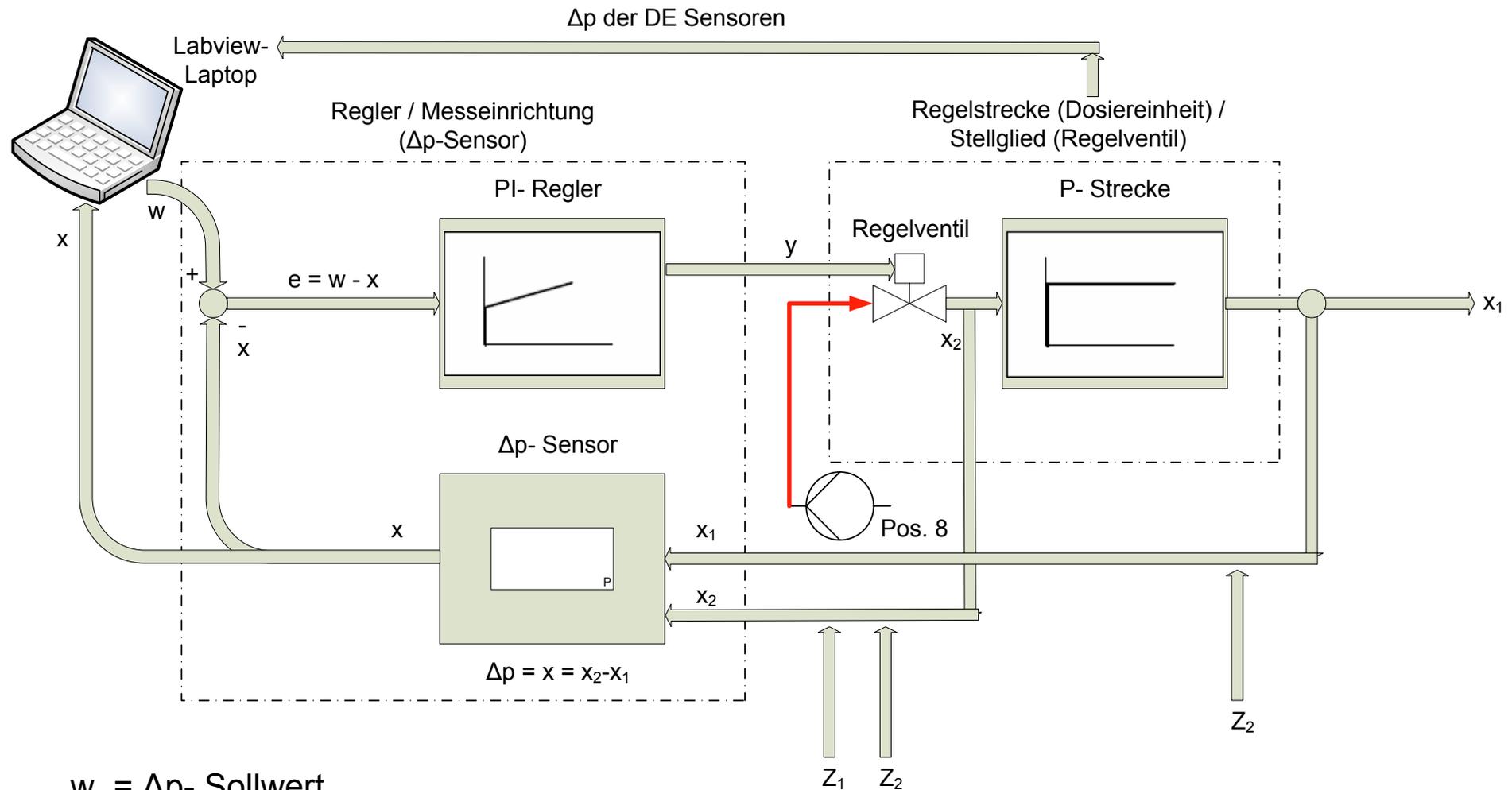
Struktur

Fehlerfolge	B	K	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungs- maßnahme	A	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	V/T
^ [Prüfung Dosierein- heit] Stellt Funktionsfähig- keit der Dosiereinheit nicht fest	^ 9		^ Messergebnisse wer- den nicht / nicht rich- tig archiviert	^ [...]	^ [...]	^ 2	^ [...]	^ 1	^ 18	20.04.2005 abgeschlossen
				[Computer] Stellt Datensicherung nicht sicher	Anfangsstand: 20.04.2005			Einsatz von bewähr- ter Soft-/Hardware	2	Fehlende Prüfberich- te / Daten in Archiv









w = Δp - Sollwert

x = Regelgröße (aktueller Ist- Wert des Differenzdrucks erfaßt durch Differenzdruck- Sensor)

e = Regeldifferenz

y = Stellgröße (Stellung des Regelventils)

x_1 = Ist- Werte Druck Dosiereinheit Ausgang ($-\Delta p$)

x_2 = Ist- Wert Druck Versorgungseinheit ($+\Delta p$)

z_1 = Störgröße durch Pulsation der Pumpe

z_2 = Störgröße durch Tot- Volumina der Messanschlüsse

\rightarrow = Testmedium- Leitung von Versorgungseinheit zum Regelventil

Auflistung der Prüfstandsbauteile		
Positionsnummer	Bauteilname	Funktion
1	5/2- Wege- Ventil	Ansteuerung der Pneumatikzylinder der Schnellspannvorrichtung
2	Wartungseinheit mit Trockner und Öler	Minderung/Trocknung/Ölung der Druckluft für Pneumatikzylinder der Schnellspannvorrichtung
3	Pneumatikzylinder Luft DE	Verfahren des Andruckstutzens Luft
4	Pneumatikzylinder HWL DE	Verfahren des Andruckstutzens HWL
5	Pneumatikzylinder Ausgang DE	Verfahren des Andruckstutzens DE Ausgang
6	Regelventil	Ermöglicht Einstellung des Differenzdruckes in der DE durch Differenzdruckregler
7	Coriolis- Zähler	Erfasst den Massenstromdurchsatz durch die DE
8	Versorgungseinheit	Versorgt die DE mit Testmedium
9	Wächter- Sensor	Erfasst den Versorgungs Druckluft Druck
10	p- HWL- Sensor	DE internes Bauteil: Erfasst den Druck des Testmediums in der DE
11	t- HWL- Sensor	DE internes Bauteil: Erfasst die Temperatur des Testmediums in der DE
12	p- NLK- Sensor	DE internes Bauteil: Erfasst den Druck des Nebenluftkreises in der DE
13	Dosierventil	DE internes Bauteil: Dosierte das Testmedium in den NLK- Luftstrom ein
14	Luftvolumenstrom-Messgerät mit Anzeige	Erfasst den aktuellen Luftdurchsatz im NLK
15	Tank Testmedium	Bevorratung Testmedium
16	Tank Alt- Testmedium	Bevorratung Alt- Testmedium

17	Venti Luft DE	Ermöglicht das ein-/ausschalten des NLK
18	Differenzdrucksensor/-regler	Regelt den Differenzdruck in er DE
19	Druckluftquelle	Versorgung des Prüfstandes mit Druckluft
20	Coriolis- Messumformer	Formt das Sensorsignal der Pos. 7 in ein genormtes elek. Signal um (4-20 mA)
21	Elektrik- Box	Vereint/schützt elektrische Geräte und Verdratung
22	Schaltnetzteil	Wandelt 230 V in 24 V
23	Schaltnetzteil	Wandelt 230 V in 12 V
24	Schaltnetzteil	Wandelt 230 V in 5 V
25	Schaltnetzteil	Wandelt 12 V in 24 V
26	Schaltnetzteil	Wandelt 12 V in 5 V
27	Referenzdrucksensor	Erfasst den Umgebungsluftdruck
28	Entstörfilter an Pos. 22	Filter Netzstörungen
29	Entstörfilter an Pos. 23	Filter Netzstörungen
30	Umschalter	Umschalter Versorgung PKW/Haus
31		
32		