

SOTEX Sondermaschinen GmbH

Planung · Konstruktion · Steuerungsentwicklung · Fertigung · Service

Am Jahnsbacher Berg 5
09392 Auerbach/Erzgebirge

Abschlussbericht

"Ressourcenschonung durch Wiederverwendung komplexer technischer Systeme"

gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Förderkennzeichen: 26631 – 22/2

Projektlaufzeit: 01.09.08 – 31.12.09

Projektleiter: Dipl.-Ing. Christoph Spieler

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	3
Projektkennblatt	4
1 Einleitung	6
2 Prozessanalyse des Demontageprozesses	7
3 Erarbeitung eines Anforderungskataloges zur mess-technischen Überwachung.....	9
4 Erarbeitung eines Gesamtkonzeptes zur mess-technischen Umsetzung.....	10
5 Auswahl eines geeigneten Messsystems.....	11
6 Erarbeitung von Lösungskonzepten	12
7 Lösungsauswahl	14
8 Konzipierung eines Versuchsstandes zum Funktions-nachweis des Lösungsansatzes	15
9 Bautechnische Umsetzung des Versuchsstandes mit messtechnischer Ausrüstung..	17
10 Versuchsdurchführung unter Berücksichtigung der Prozesssicherheit	18
11 Maschinentechnische Ausrüstung und Nachweis des Lösungsprinzips unter Praxisbedingungen	20
12 Fazit	21

Abkürzungsverzeichnis

C_p	-	Verhältnis zwischen der Streuung Grenzen
C_{pk}	-	Lage der Verteilung innerhalb der Toleranz
$F_{Anpresskraft}$	KN	Erforderliche Anpresskraft
F_{Feder}	KN	Federkraft
F_R	KN	Reibkraft Zylinder und Führung
F_Z	KN	Zylinderkraft
K_T	KN	kritische Toleranzgrenze
p_{Netz}	bar	Netzdruck
O_T	KN	Obere Toleranzgrenze
$m \cdot g$	KN	Gewichtskraft "Lösen Düsenverschraubung"
s	-	Prozessstandardabweichung
U_T	KN	Untere Toleranzgrenze
\bar{X}	-	Prozessmittelwert

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	26631	Referat	22/2	Fördersumme	82.541,00 €
Antragstitel	Ressourcenschonung durch Wiederverwendung komplexer technischer Systeme				
Stichworte	Demontage, Wiederverwendung				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
16 Monate	01.09.2008	31.12.2009	1		
Zwischenberichte	1				
Bewilligungsempfänger	Sotex Sondermaschinen GmbH Am Jahnsbacher Berg 5 09392 Auerbach	Tel 03721/2682-11 Fax 03721/2682-22 Projektleitung Dipl.-Ing. Christoph Spieler Bearbeiter Thomas Eulitz			
Kooperationspartner					

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Der Dieselinjektor als komplexes technisches System wird aus ca. 25 verschiedenen Einzelteilen montiert. Die Tolerierung der Einzelteile liegt dabei im Bereich 5 µm. Eine Ursache für NIO-Injektoren können defekte Komponenten sein. Hauptverursacher für fehlerhafte Injektoren ist jedoch die Montage von Teilen bei denen die Bearbeitungsmaße an der oberen bzw. unteren Toleranzgrenze liegen. Die NIO-Injektoren werden demontiert und sämtliche Einzelteile dem Montageprozess wieder zugeführt. Eine Verbesserung der Fertigung ist nicht möglich, da diese immer gewissen Schwankungen unterliegt. Mit Hilfe einer prozessüberwachten Demontage erhöht sich die Wiederverwendungsquote der Teile um 20% bis 40%. Für eine beschädigungsfreie Demontage müssen bestimmte Prozessparameter eingehalten werden, um die Wiederverwendung der Einzelteile zu gewährleisten. Bei einer Einsparung von 8 Bearbeitungsmaschinen im Jahr, mit einer Leistung von 10 kW je Maschine, können ca. 298 Tonnen CO₂ eingespart werden. Das neue Wirkprinzip liefert somit einen wirkungsvollen Beitrag zu ressourcenschonenden Fertigungsmethoden auch bei bereits hochgenauen und hochproduktiven Produktionsprozessen.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Beim Lösen der Düsenverschraubung an Dieselinjektoren muss zur beschädigungsfreien Demontage eine Anpresskraft auf die Düse erfolgen. Erst nach dem Aufbringen der Anpresskraft wird die Verschraubung gelöst. Während des LöSENS der Verschraubung darf die Anpressvorrichtung auf der feststehenden Düse keine Relativbewegung ausführen. Beschädigungen am Düsengrundkörper und Düsenverschraubung sind irreparabel. Zusätzlich ist es unzulässig die Anpresskraft auf die Düsenverschraubung zu übertragen. Beschädigungen an der Düsenverschraubung führen zu nicht wieder verwendbaren Teilen. Für den Einbau einer Kraftmesseinrichtung muss eine Neukonzeption der Station zum Lösen der Düsenverschraubung erfolgen. Dabei ist es notwendig, die Kraft permanent zu überwachen und zu protokollieren. Jeder Demontagevorgang wird entsprechend registriert, wobei beim Nichterreichen der erforderlichen Anpresskraft der Prozess nicht beginnt. Dadurch können Einflüsse, wie beispielsweise Verschleiß an Führungen und Zylindern und Schwankungen im Druckluftnetz, welche den Prozess negativ beeinflussen, ausgeschlossen werden. Weiterhin ist eine Erhöhung der Taktzeit durch eine permanente Kraftmessung unzulässig.

Ergebnisse und Diskussion

Eine permanente Messung und Auswertung jedes Injektors wurde durch Neugestaltung der Bearbeitungsstation "Lösen Düsenverschraubung" sowie der Implementierung in die bereits bestehende Anlage realisiert. In Versuchsreihen wurde die Prozessfähigkeit des Gesamtmess- und Auswertesystems nachgewiesen. Es handelt sich um einen "fähigen" Prozess, wobei die gemessenen Mittelwerte außerhalb der Toleranzmitte liegen. Ursache ist die Auswahl des Pneumatikzylinders, dabei wurde die kleinstmögliche Kolbenfläche gewählt, um den Luft- und Energieverbrauch zu minimieren.

In einer Testphase unter praxisnahen Bedingungen wurden produktionsbegleitende Untersuchungen durchgeführt, wobei die Wiederverwendungsquote um ca. 25% gesteigert werden konnte. Die Erhöhung der Wiederverwendungsquote liegt darin begründet, dass Beschädigungen innerhalb des Bauteils durch permanente Überwachung der Anpresskraft ausgeschlossen werden können. Dadurch sind Schädigungen an der Dichtfläche zwischen Düsenverschraubung und Düse sowie bei empfindlichen Bauteilen innerhalb des Piezoaktors ausgeschlossen. Bisher wurde eine hohe Anzahl an Düsenverschraubungen, Düse sowie Piezoaktor nicht in den Wiederverwendungsprozess eingeschleust, da durch eine unkontrollierte Anpresskraft Beschädigungen nicht ausgeschlossen werden konnten. Eine Zuführung von beschädigten Teile in den Wiederverwendungsprozess führt zu überflüssigen Montageprozessen, wobei der komplette Injektor nach der Prüfung wieder in die Demontage gelangt bzw. hochwertige Fertigungsteile bei wiederholten Montageprozessen geschädigt werden.

Das in die Anlage installierte Mess- und Auswertesystem hat sich als wirtschaftlich und technisch sinnvoll erwiesen. Es werden Fertigungskapazitäten eingespart, da jährlich ca. 600.000 Teile zusätzlich in den Wiederverwendungsprozess gelangen. In der Testphase hat sich gezeigt, dass Schwankungen im Druckluftnetz zu einer Unterschreitung der Anpresskraft führte. Modifikationen und Justierarbeiten in der Ansteuerungsstrategie der pneumatischen Einzelantriebe der Maschine und dem Druckluftnetz führten zu einer Verringerung dieser prozessbedingten Schwankungen. Durch diese permanente Überwachung der Anpresskraft können Unterschreitungen der unteren Toleranzgrenze innerhalb des automatisierten Demontageprozesses ausgeschlossen werden.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Das hier dargestellte Prinzip wird erstmalig auf der Messe SIT 2010 in Chemnitz vorgestellt. Eine Patentanmeldung wird beabsichtigt.

Fazit

Der innovative Charakter des Projektes ist durch die Implementierung einer Mess- und Auswerteeinheit zur Demontage von Injektoren innerhalb des Wiederverwendungsprozesses gekennzeichnet. Die Wiederverwendungsquote wurde um ca. 25% gesteigert, d. h. bei 800.000 NIO-Injektoren und drei zusätzlichen Teilen werden dem Montageprozess ca. 600.000 Teile aus dem Wiederverwendungsprozess zugeführt. Dadurch können bei einer durchschnittlichen Fertigungszeit von 6 min in einer Produktion in drei Schichten 60.000 Stunden eingespart werden. Für die mechanische Fertigung bedeutet dies eine Einsparung bei 10 Bearbeitungsmaschinen, mit einer durchschnittlichen Leistung von 10 kW je Maschine, von 600.000 kWh. Durch Steigerung der Wiederverwendungsquote um ca. 25% wird der jährliche CO₂ - Ausstoß um 372 t reduziert. Ein Wissenstransfer in andere technische Arbeitsgebiete wie Montage- und Demontage der Firma Sotex Sondermaschinen GmbH ist gewährleistet.

1 Einleitung

Der derzeitige Demontageprozess ist durch einen hohen Anteil Handarbeit gekennzeichnet. Für das Lösen der Verschraubungen am Injektor wird eine Maschine verwendet, welche Düse, Hochdruckanschluss und Piezoelement löst. Bei sämtlichen Demontagevorgängen darf keine Schädigung der äußeren Phosphatschicht erfolgen. Beschädigung führen zur Ausschleusung aus dem Prozess. Die Anlage arbeitet nach dem Rundtischprinzip, wobei die Teile manuell vorgelegt werden.

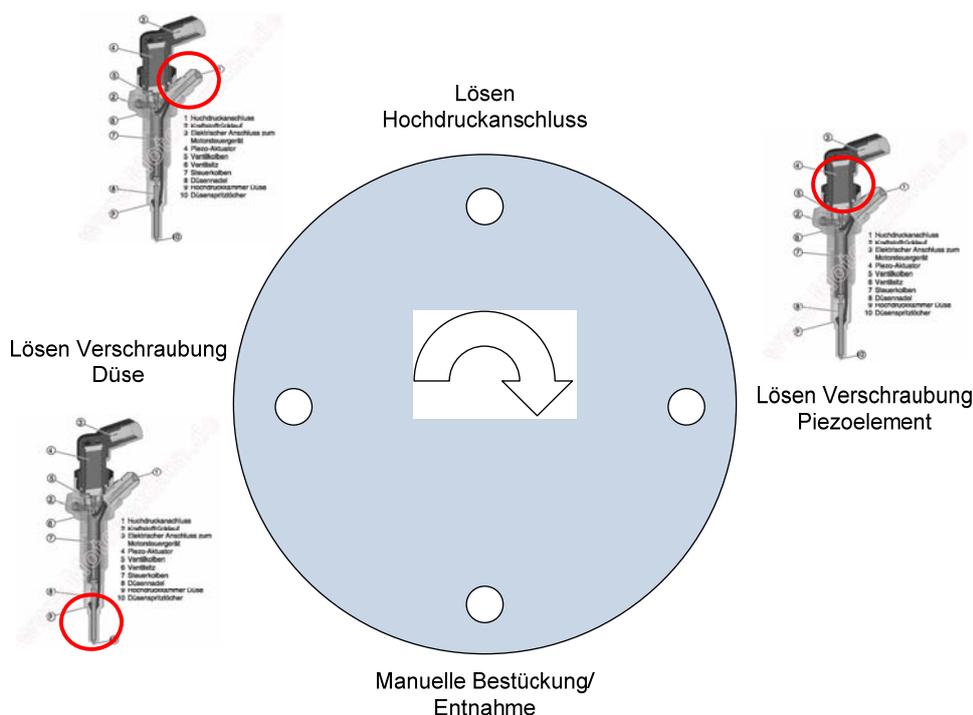


Abbildung 1 Prinzip Demontageanlage

Für das Lösen der Verschraubung ist ein Lösemoment von ca. 180 Nm erforderlich. Um das beschädigungsfreie Demontieren der Einzelteile zu gewährleisten, ist bei der Düsenverschraubung ein fehlerfreies Lösen notwendig. Derzeit wird die Kraft mittels eines Pneumatikzylinders aufgebracht. Eine Kalibrierung wurde bei Inbetriebnahme der Maschine durchgeführt. In genau festgelegten zeitlichen Abständen wird die Kalibrierung wiederholt. Zwischenzeitliche Schwankungen in der Anpresskraft werden derzeit nicht dokumentiert. Durch Verschleiß bzw. Schwankungen im Druckluftnetz werden Injektoren fehlerhaft demontiert und Chargen an Einzelteilen

können nicht in den Wiederverwendungsprozess überführt werden. Zur Realisierung des Projektes ist eine permanente Überwachung der Gegenkraft vorwiegend im Bereich 2 KN - 6 KN zum Lösen der Düsenverschraubung notwendig und stellt eine Erhöhung der Prozesssicherheit dar. Es wurden Anbieter auf dem Gebiet der Kraftmesstechnik kontaktiert, wobei als Komponentenlieferant die Firma Brainware Solution in Chemnitz ausgewählt wurde.

2 Prozessanalyse des Demontageprozesses

In der Prüflinie werden sämtliche Injektoren mit einem Prüfdruck bis zu 2500 bar getestet, um Leckagen am System zu detektieren. Liegen dabei mehr als vier Teile an der oberen bzw. unteren Toleranzgrenze, so werden diese als NIO-Teile ausgegeben. Dabei werden ca. 10% der Injektoren als NIO-Teile aussortiert und dem Demontageprozess zugeführt. Diese werden manuell demontiert und die entsprechenden Einzelteile in Paletten kommissioniert. Im Anschluss wird jedes Einzelteil einer Sichtkontrolle mittels Mikroskop bzw. Lupe unterzogen und auf Beschädigung untersucht. Für eine manuelle Demontage sind die Verschraubungen Düse, Hochdruckanschluss und Piezoelement mittels einer Anlage zu lösen. Ein gesondertes Einscannen an der Demontageanlage selbst ist nicht erforderlich, da eine Nachverfolgbarkeit innerhalb des Prozesses gewährleistet ist. Nach einer Sichtkontrolle werden die einzelnen Teile dem Montageprozess zugeführt. In Abbildung 2 sind die entsprechenden Einzelteile eines Injektor abgebildet. Der Demontageprozess umfasst eine Vielzahl an Varianten von Injektoren, welche im folgenden unterschieden werden:

- Länge
- Schlüsselweite
- Winkel Dieselanschluss.

Beim Demontageprozess werden die entsprechenden Varianten getrennt voneinander demontiert. Um keine beschädigte Einzelteile in den Montageprozess zu übergeben, werden sämtliche Einzelteile klassifiziert und begutachtet.

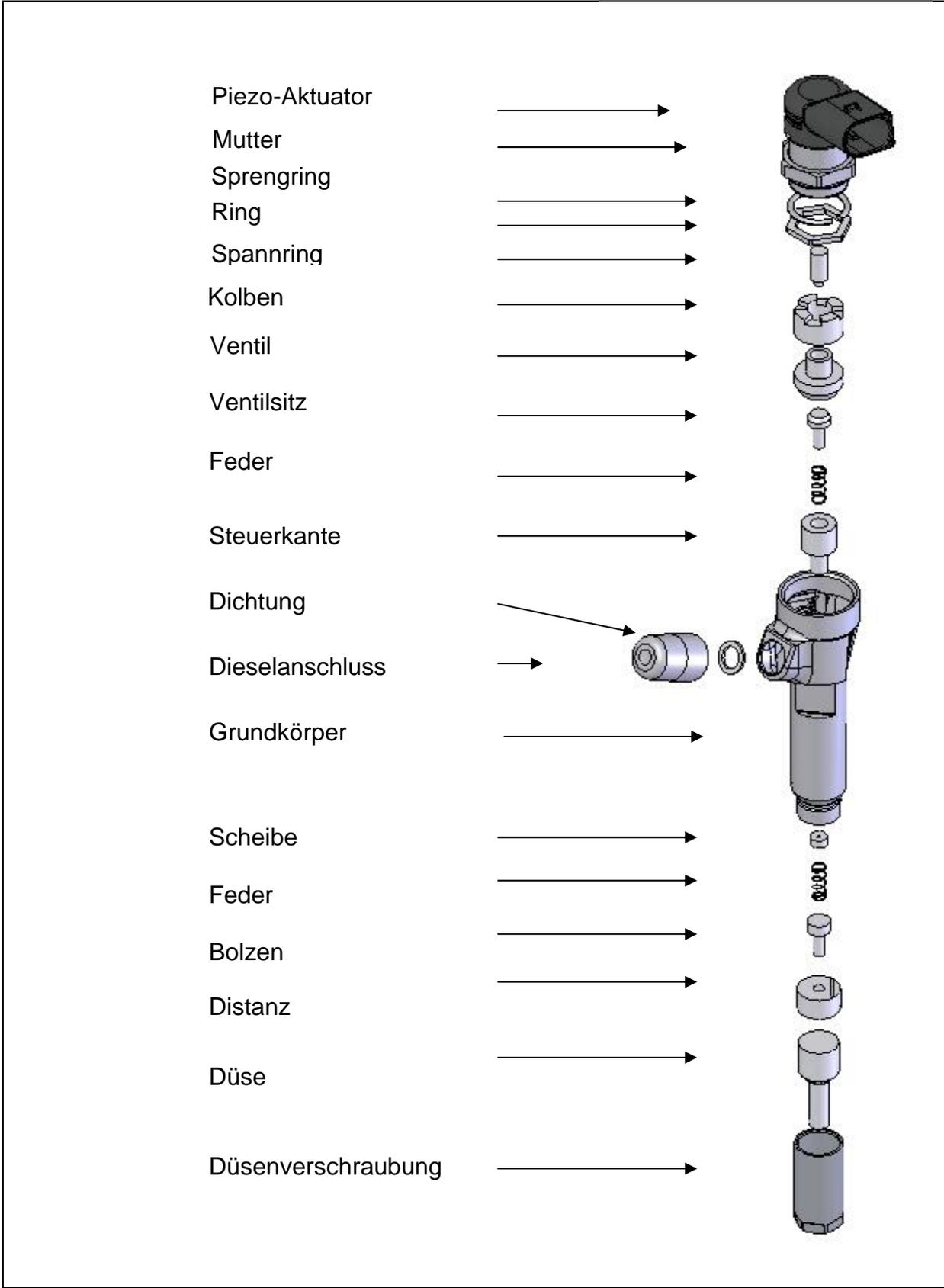


Abbildung 2 Explosionsansicht Dieselinjektor

3 Erarbeitung eines Anforderungskataloges zur messtechnischen Überwachung

Für eine permanente Überwachung der Anpresskraft sind bestimmte Anforderungen notwendig, um den gesamten Demontageprozess nicht negativ zu beeinflussen. Dabei werden folgende Voraussetzungen an das Messsystem gestellt:

- Permanente Überwachung der Anpresskraft vor und während des LöSENS der Verschraubung
- Anpresskraft-->untere Toleranzgrenze (U_T) 4,25 - obere Toleranzgrenze (O_T) 4,50 KN, obere Toleranzgrenze schließt Schädigungen an der Düse selbst aus
- Maximale Messzeit 5s
- Geschützte Ausführung IP 67 (Schutz vor Prüfling)
- Temperaturbereich 10 °C bis 35 °C
- Farbige Bilddarstellung und Auswertung der Ergebnisse für den Bediener
- Entsprechende Zugriffsrechte an der Steuerung für den Bediener der Anlage
- Bei Unterschreitung der Anpresskraft Fehlermeldung sowie Stillstand der Bearbeitungsstationen
- Anlauf der Anlage nach Quittierung des Fehlers
- Regelmäßige Unterschreitung der Anpresskraft führt zu einer Störung
- Prozessfähigkeit c_p und $c_{pk} \geq 1,33$ des Systems an der Station "Lösen Düsenverschraubung"

Beim Einsatz unter Praxisbedingungen darf sich die Taktzeit nicht erhöhen und somit die Produktivität nicht negativ beeinflusst werden. Eine regelmäßige Unterschreitung der Anpresskraft kann ihre Ursache in Schwankungen im Druckluftnetz, sowie Verschleiß an Führungen und Zylinder haben. Die Implementierung der Mess- und Auswertetechnik in die bestehende Anlage ist zu realisieren. Dabei sind entsprechende Varianten zum Gesamtkonzept zu erarbeiten.

4 Erarbeitung eines Gesamtkonzeptes zur messtechnischen Umsetzung

Eine Implementierung der Messtechnik in die bestehende Anlagentechnik ist für eine permanenten Überwachen erforderlich. Dabei wurden entsprechende Lösungsvarianten zur ergonomischen Gestaltung des Arbeitsplatzes realisiert, um logistische und räumliche Platzverhältnisse nicht einzuschränken. In Abbildung 3 ist das Layout dargestellt, wobei der Bediener IO- bzw. NIO-Teile im Demontageprozess erkennt.

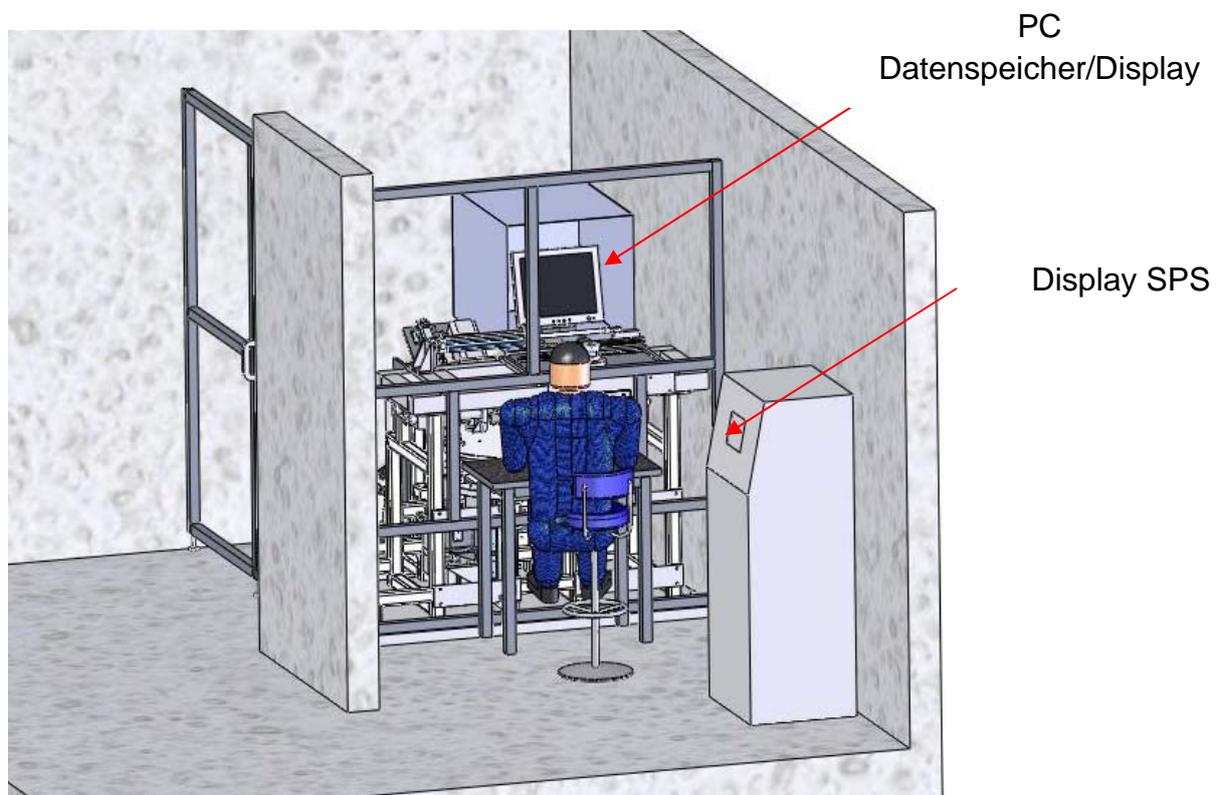


Abbildung 3 Layout Implementierung Messtechnik

Um eine derartige Prozessstabilität zu gewährleisten, sind PC, Monitor, Datenspeicher gesondert geschützt. Durch eine Integration in den abgeschirmten Bereich werden die logistischen und räumlichen Platzverhältnisse nicht eingeschränkt. Jeder Demontagevorgang wird permanent geprüft sowie optisch mit entsprechenden Signalfarben ausgewertet. Damit ergeben sich zwei Systeme welche miteinander verknüpft werden müssen. Schnittstellen für die Kommunikation und Datenaustausch sind steuerungstechnisch zu integrieren. Signale der Kraftmessdose werden über den PC-Datenspeicher an die SPS-Steuerung übertragen und dadurch eine Anzeige der Istwerte ermöglichen. Die SPS-Steuerung stellt die übergeordnete

Steuerung dar und meldet die Freigabe und Bereitschaft zur Aufnahme von Messwerten bei der Demontage.

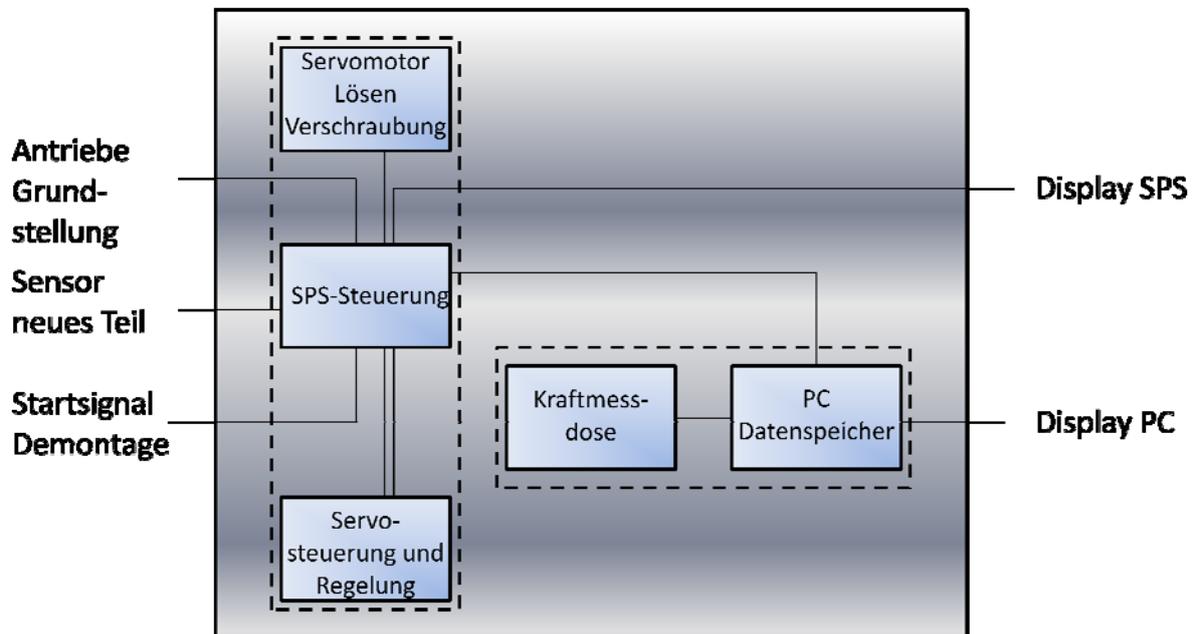


Abbildung 4 Funktionsstruktur zur messtechnischen Umsetzung

5 Auswahl eines geeigneten Messsystems

Zur Realisierung des Projektes müssen entsprechende Hardwarekomponenten ausgewählt werden. Um einen Datenaustausch zwischen SPS-Steuerung, PC-Datenspeicher sowie Kraftmessdose zu ermöglichen ist eine Realisierung von entsprechenden Schnittstellen in Form von Analog- und Digitalkarten notwendig. Die Datenaufzeichnung erfolgen mittels eines Industrie-PC, welcher mit einer Windows-Bedienoberfläche arbeitet. Um die zeitlichen Unterschiede beim Herunterfahren der Anlage zu kompensieren, ist die Installation einer unterbrechungsfreien Stromversorgung notwendig. Die SPS-Steuerung kann sofort heruntergefahren werden, dagegen muss der Industrie-PC, basierend auf Windows-Betriebssystem, noch eine bestimmte Zeit am Stromnetz verbleiben, um ein beschädigungsfreies Abschalten des Rechners zu gewährleisten. Weiterhin werden dadurch Datenverluste während der Aufzeichnung bei Stromausfällen vermieden.

$$F_{Anpresskraft}(p_{Netz}) = F_Z - m \cdot g - F_R - F_{Feder} \quad (1)$$

$$F_{Anpresskraft}(6,5 \text{ bar}) = 4,7 \text{ KN} - 0,3 \text{ KN} - 0,03 \text{ KN} - 0,02 \text{ KN}$$

$$\underline{F_{Anpresskraft}(6,5 \text{ bar}) = 4,35 \text{ KN}}$$

Dabei wirkt die Gewichtskraft, Reibkraft und Federkraft negativ auf die Anpresskraft aus. Eine Erhöhung der Reibkraft in Führungen und pneumatischen Antrieben kann durch permanentes Messen dieser Kraft ermittelt werden. Ein großen Einfluss auf die Anpresskraft haben Druckschwankungen im Leitungsnetz.

Folgender Prüfablauf wird festgelegt:

1. Einschalten Hauptschalter-->PC erhält 230 VAC, 24 VDC
2. PC meldet "Prüfbereitschaft"-->Display PC
3. Bediener legt Werkstück ein--> Sensor neues Teil
4. Startsignal durch Bediener--> Rundtakttisch schwenkt 90°, wenn PC "Prüfbereitschaft"=1
5. Gegenhalter in Arbeitsstellung
6. Vertikalzylinder fährt nach oben
7. SPS-Steuerung setzt "Prüfstart"--> Prüfbereitschaft wird zurückgezogen
8. Prüfung durch PC--> Display PC "Prüfung läuft"
9. Prüfung durch PC an SPS --> Display PC "IO/NIO"
10. Rückmeldung von SPS, damit "IO/NIO" zurücksetzen
11. Wenn "IO-NIO"=0--> "Prüfbereitschaft"=1

Dabei werden die Signale "Prüfbereitschaft", "IO/NIO" im PC sowie "Prüfstart" und "Rückmeldung" in der SPS-Steuerung erzeugt. Bei NIO-Teilen wird an den Stationen 2 und 3 demontiert, jedoch an der 1. Station keine Bearbeitung vorgenommen. Wenn das unvollständig demontiert Teil die Entnahmeposition erreicht hat, wird ein Fehler generiert. Dabei blinkt die gelbe Kontrollleuchte im Sichtbereich des Werkers und am Display erscheint eine Fehlermeldung. Diese ist erst zu löschen, wenn das nicht vollständig demontierte Teil entnommen ist.

7 Lösungsauswahl

Bei der Realisierung wird die Variante 2 wie in Abbildung 6 dargestellt bevorzugt, da diese statisch am Gestell montiert werden kann. Folglich sind keine Zusatzelemente wie beispielsweise Energieketten zur Signal- und Energieübertragung notwendig.

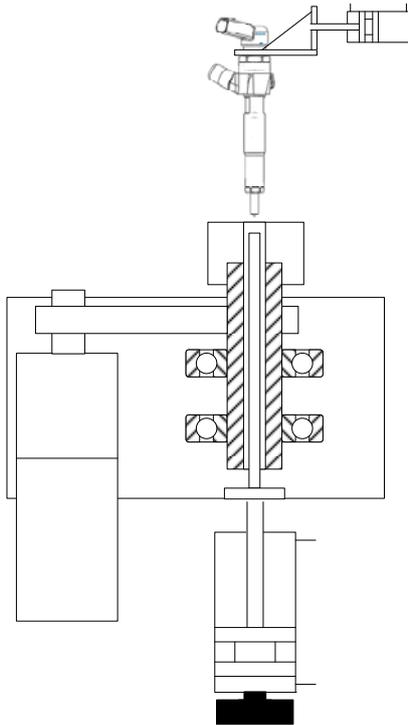


Abbildung 6 Realisierte Variante zur permanenten Messung der Anpresskraft

Für die Bewertung wurden folgende Bewertungskriterien festgelegt:

- Implementierung in das bereits bestehende Rundtischprinzip
- Prozesssicherheit
- stationäre Energie- und Signalübertragung (keine Relativbewegung der Messtechnik)
- Umwelteinflüsse durch Prüföl
- Permanentüberwachung

Zur erfolgreichen Projektdurchführung ist die Implementierung in die bereits bestehende Anlage essentiell. Aufgrund der Ausführung als Sitzarbeitsplatz und den dadurch geringen Platzverhältnissen muss die Station zum Lösen der Düsenverschraubung neu konzipiert werden. Für den Einsatz in einem

stückzahlorientierten Prozess ist die Prozesssicherheit von sehr großer Bedeutung, d. h. der Verschleiß hinsichtlich bewegten Teilen ist zu minimieren. Die Messtechnik wird deshalb stationär am Gestell befestigt. Weiterhin ist die Kraftmessdose vor dem Einfluss des aggressiven Prüföls zu schützen. Dadurch können vorzeitige Ausfälle vermieden werden, da hier eine permanente Überwachung dieser Anpresskraft erfolgt. Es wurde die optimale Lösungsvariante ausgewählt und in einem konstruktiven Entwurf umgesetzt.

8 Konzipierung eines Versuchsstandes zum Funktionsnachweis des Lösungsansatzes

In Abbildung 7 ist der konstruktive Entwurf zum Lösen der Düsenverschraubung mit permanenter Kraftmessung abgebildet.

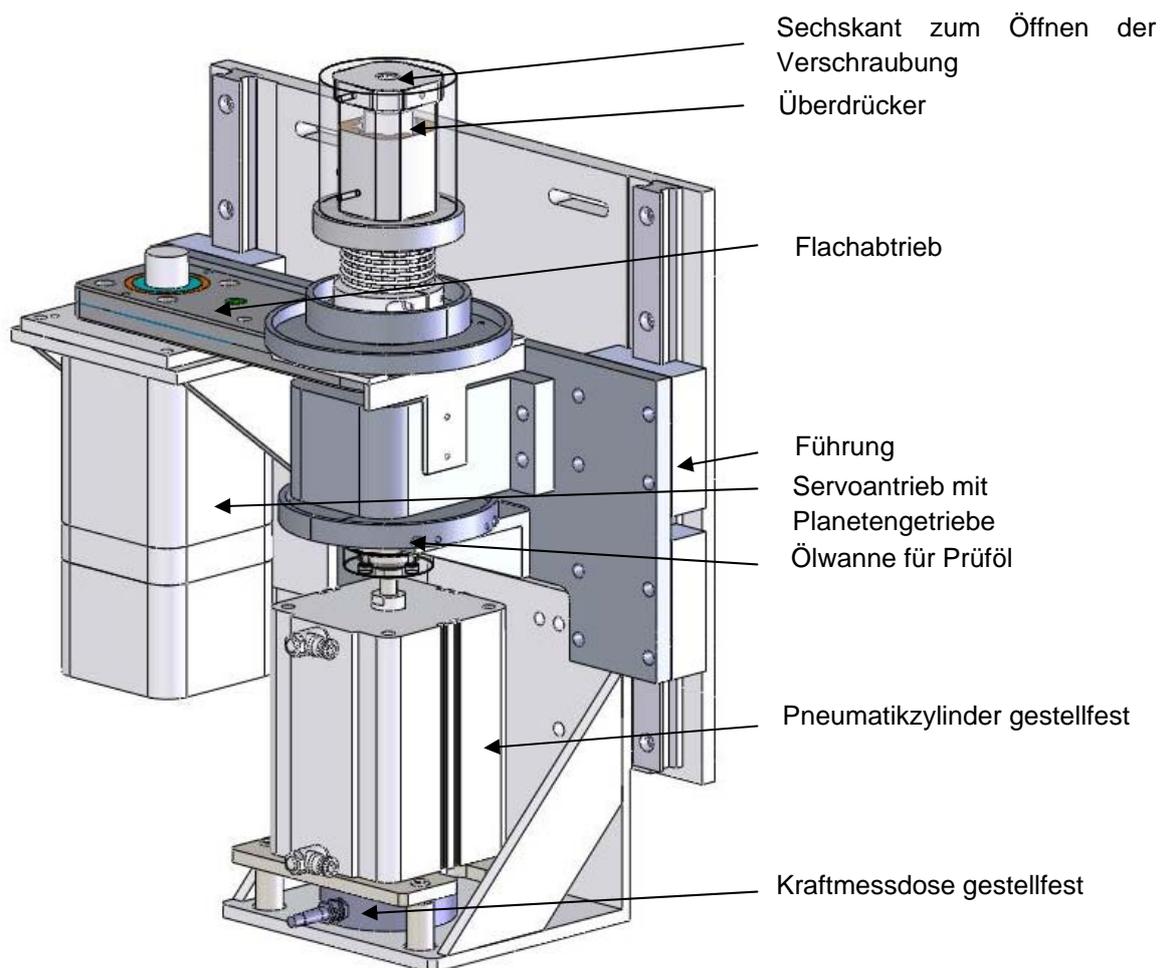


Abbildung 7 Schraubstation zum Lösen der Düsenverschraubung mit Kraftmessung

Im konstruktiven Entwurf sind Pneumatikzylinder und Kraftmessdose gestellfest montiert. Mittels Kugelumlauf Führungen wird die gesamte Einheit, bestehend aus Servoantrieb mit Planetengetriebe, Flachabtrieb, Ölwanne für Prüföl, Überdrücker und Sechskant zum Öffnen der Verschraubung an den Dieselinjektor herangefahren.

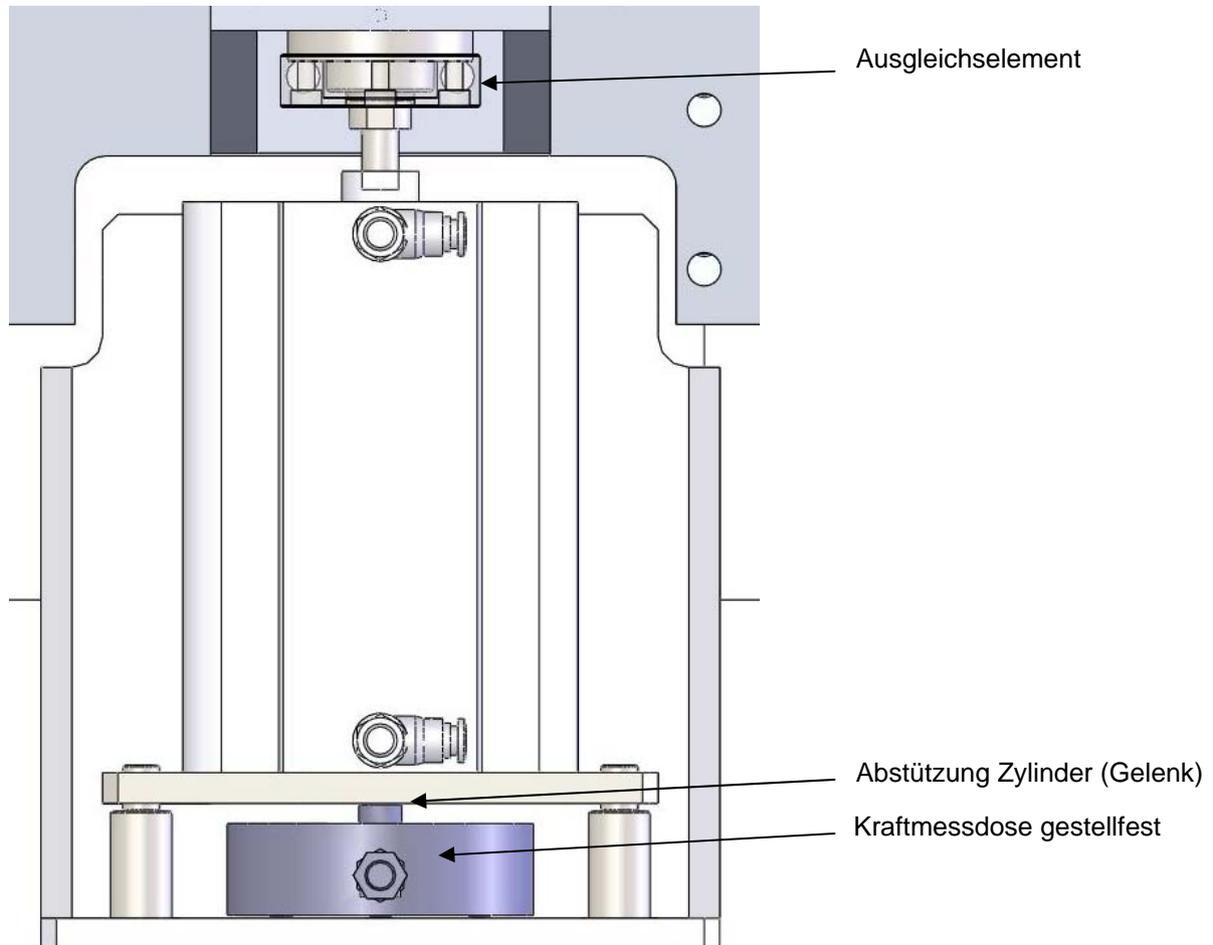


Abbildung 8 Querkraftfreie Einbindung Pneumatikzylinder

Um eine querkraftfreie Übertragung der Anpresskraft zu gewährleisten, ist der Zylinder entsprechend Abbildung 8 einzubinden. Während des Lösens der Düsenverschraubung darf keine Drehbewegung zwischen Überdrücker und Sechskant zum Lösen der Düsenverschraubung auftreten. Eine Bewegung führt zur Entstehung von NIO-Teilen.

9 Bautechnische Umsetzung des Versuchsstandes mit messtechnischer Ausrüstung

Wie in Abbildung 9 und 10 dargestellt erfolgt hier die bautechnische Umsetzung sowie die entsprechende Einbindung der Messtechnik in die Baugruppe.

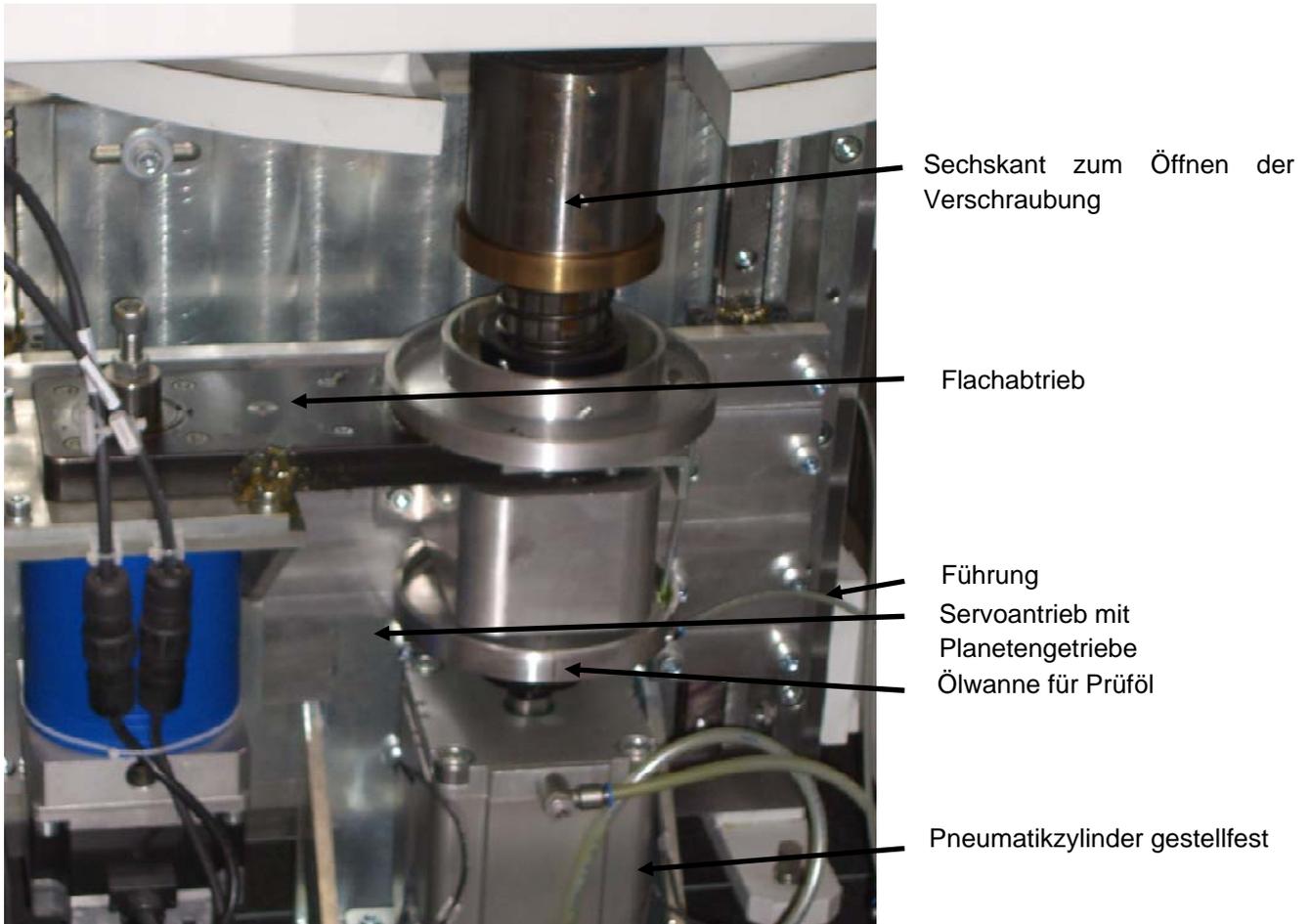


Abbildung 9 Baugruppe Lösen Düsenverschraubung

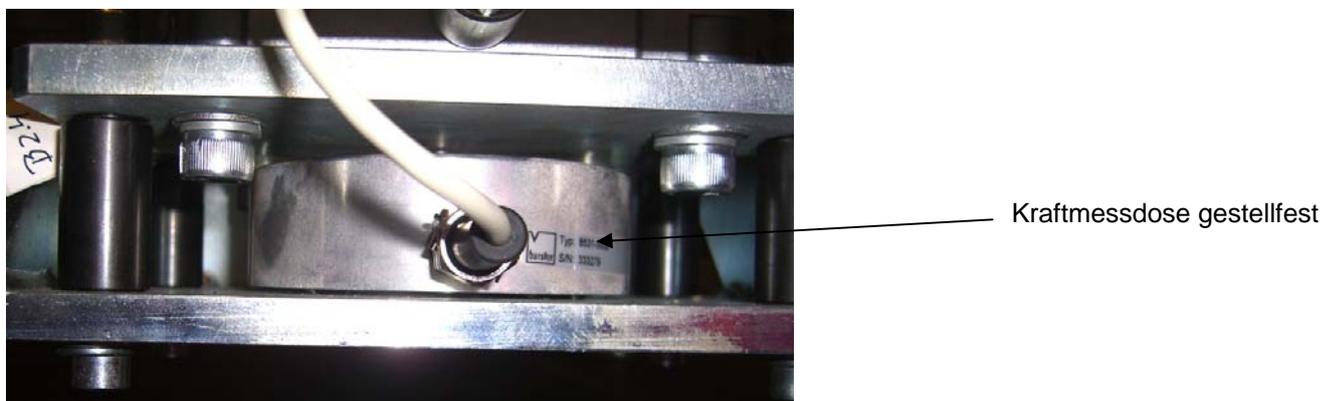


Abbildung 10 Gestellfest montierte Kraftmessdose

Weiterhin erfolgt die Schnittstelle für den entsprechenden Signalaustausch zwischen PC-Datenspeicher und SPS-Steuerung, um Fehlmessungen auszuschließen.

10 Versuchsdurchführung unter Berücksichtigung der Prozesssicherheit

Um eine entsprechende Anbindung an die Gesamtanlage zu ermöglichen wurde der Versuchsstand in die bestehende Anlage implementiert. Dabei muss bei der Integration des Messsystems in die bereits bestehende Anlage abschaltbar sein, um ein störungsfreies Weiterarbeiten während der Testphase zu gewährleisten. Ferner wurden entsprechende Versuche durchgeführt, wobei die Prozessstabilität nachgewiesen wurde. Dabei wurden unter gleichen Bedingungen die Kraft im in Arbeitsstellung erfasst.

Im hier betrachteten Prozess gibt es systematische Schwankungen, welche auf Unregelmäßigkeiten im Prozess hindeuten. Der Prozess wird bezüglich eines Merkmales als fähig bezeichnet, wenn dieses Merkmal mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,7% (± 3 -fache Standardabweichung) innerhalb einer vorgegebenen Toleranzgrenze liegt. Für eine Bestimmung des Prozessfähig sind die Werte c_p und c_{pk} erforderlich.

Der Wert c_p ist das Verhältnis der vorgegebenen Toleranz (Toleranzband) zu $6 \cdot s$, d. h. im Bereich $6 \cdot s$ liegen 99,7 % aller Messwerte, welches als natürliche Prozessstreuung angenommen wird.

$$c_p = \frac{O_T - U_T}{6 \cdot s} \quad (2)$$

Der Wert c_p berücksichtigt nicht die Lage der Verteilung innerhalb der Toleranz. Dies wird durch Berechnung des Wertes c_{pk} erreicht. Ist c_{pk} gleich c_p , so liegt der Mittelwert des Prozessergebnisses genau in der Toleranzmitte. Je kleiner c_{pk} gegenüber c_p ist, desto weiter liegt der tatsächliche Prozess von der Toleranzmitte entfernt.

$$c_p = \frac{\bar{X} - K_T}{3 \cdot s} \quad (3)$$

In Tabelle 1 ist die Berechnung zur Prozessfähigkeit abgebildet. Dabei wurden mehrere Testreihen hinsichtlich Anpresskraft durchgeführt und auf ihre Prozessfähigkeit hin untersucht.

Tabelle 1 Berechnung zur Prozessfähigkeit

	Messreihen Einheit in KN									
	Messreihe 1	Messreihe 2	Messreihe 3	Messreihe 4	Messreihe 5	Messreihe 6	Messreihe 7	Messreihe 8	Messreihe 9	Messreihe 10
Mittelwerte	4,33	4,35	4,34	4,34	4,32	4,33	4,31	4,35	4,34	4,33
Standardab	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01
Varianz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Prozeßstandardabweichung			0,02	OT:		4,5	cp:		2,72	
Prozeßmittelwert			4,33	UT:		4,25	cpk:		1,80	

Als Ergebnis der Berechnung kann gezeigt werden, dass es sich um einen "fähigen" Prozess handelt, da c_p und $c_{pk} \geq 1,33$. Die Abweichung c_p von c_{pk} liegt in der Dimensionierung des Arbeitszylinders begründet. Der Mittelwert liegt bei 4,33 KN und liegt somit in der Nähe der unteren Toleranzgrenze. Im Ergebnis wird gezeigt, dass die Prozessfähigkeit gegeben ist und die dimensionierten Komponenten für den Prozess geeignet sind.

11 Maschinentechnische Ausrüstung und Nachweis des Lösungsprinzips unter Praxisbedingungen

In diesem Arbeitspunkt erfolgt die Implementierung der entsprechenden Mess- und Auswertetechnik zur permanenten Überwachung der Anpresskraft in die bestehende Anlage, wie in Abbildung 11 dargestellt.



Abbildung 11 Implementierte Mess- und Auswertetechnik in die Demontageanlage

Das Modul zur Auswertung mit Display wird im Schutzbereich der Demontageanlage untergebracht, um die Platzverhältnisse im Arbeitsraum des Bedieners nicht zu beeinträchtigen. Weiterhin wird mit Hilfe einer grafischen Oberfläche eine eindeutige Bewertung jedes einzelnen Lösevorganges an der ersten Station vorgenommen. In Abbildung 12 ist der Messwert entsprechend grafisch aufbereitet.



Abbildung 12 Grafische Oberfläche mit integrierter Auswertung

NIO-Teile werden an der erste Station nicht geöffnet, wobei der Hintergrund der grafischen Oberfläche rot dargestellt wird. Der Bediener kann sofort eine Unterschreitung der Anpresskraft feststellen. Das Lösungskonzept zur Realisierung einer permanenten Kraftüberwachung zum Lösen der Düsenverschraubung ist für diese Aufgabe geeignet. Unterschreitungen dieser Kraft, welche zu Schädigungen an Bauteilen im Injektor führen, werden durch die Implementierung der Mess- und Auswertesysteme nicht mehr zugelassen. Die Wiederverwendungsquote von Teilen wie beispielsweise dem Piezoaktor, Düsenverschraubung und Düse wurde um ca. 25% erhöht, d. h. dadurch können weitere Wiederverwendungskonzepte realisiert werden. Durch den Ausschluss der Unterschreitung der Anpresskraft ist es möglich, beispielsweise eine Demontage der Sprengringe am Piezoaktor durchzuführen. Erst durch diese Technologie ist eine Demontage dieser Sprengringe wirtschaftlich, da Beschädigungen innerhalb des Bauteils ausgeschlossen werden können. Weitere Bauteile sind die Düsenverschraubung und Düse, welche hier durch die permanente Überwachung keine Schädigung an der Dichtfläche erfahren. Bisher wurde eine hohe Anzahl an Düsenverschraubungen nicht in den Wiederverwendungsprozess eingeschleust, da durch eine unkontrollierte Anpresskraft Beschädigungen nicht ausgeschlossen werden konnten. Eine Zuführung dieser risikobehafteten Teile in den Wiederverwendungsprozess, führt zu überflüssigen Montage- und Demontageprozessen, dabei können hochwertige Fertigungsteile bei wiederholten Zyklen geschädigt werden.

12 Fazit

Der innovative Charakter des Projektes ist durch die Implementierung einer Mess- und Auswerteeinheit zur Demontage von Injektoren innerhalb des Wiederverwendungsprozesses gekennzeichnet. Die Wiederverwendungsquote wurde um ca. 20% gesteigert, d. h. bei 800.000 NIO-Injektoren und drei zusätzlichen Teilen werden dem Montageprozess ca. 600.000 Teile aus dem Wiederverwendungsprozess zugeführt. Dadurch können bei einer durchschnittlichen Fertigungszeit von 6 min in einer Produktion in drei Schichten 60.000 Stunden eingespart werden. Für die mechanische Fertigung bedeutet dies eine Einsparung bei 10 Bearbeitungsmaschinen, mit einer durchschnittlichen Leistung von 10 kW je

Maschine, von 600.000 kWh. Durch Steigerung der Wiederverwendungsquote um ca. 25% wird der jährliche CO₂-Ausstoß um 372 t reduziert.

Ein Wissenstransfer in andere technische Arbeitsgebiete wie Montage- und Demontageprozesse der Firma Sotex Sondermaschinen GmbH selbst ist gewährleistet. Der Wiederverwendungsprozess bei der Herstellung komplexer technischer Systeme wird als sinnvoll erachtet, da dies ein Beitrag zur Ressourcenschonung und somit eine Einsparung von CO₂ erreicht wird. Weiterhin ist es möglich, durch permanente Überwachung der Anpresskraft die Wiederverwendungsquote um ca. 25% zu erhöhen.

NIO-Injektoren, welche die vorgegeben Parameter der Prüflinie nicht erreichen, führen zur Demontage, da sämtliche Einzelkomponenten in den vorgegebenen Toleranzen liegen. Befinden sich dabei mehr als vier Einzelteile an der oberen bzw. unteren Toleranzgrenze, so werden die gesamten Injektoren auf der Prüflinie als NIO-Injektoren ausgegeben. Eine Verbesserung der bereits hochgenauen und hochproduktiven Fertigungsverfahren ist nicht möglich, da die Toleranzen für die Teile im Bereich 5 µm liegen.

Mit dieser technologischen Entwicklung auf dem Sektor der Demontage komplexer technischer Systeme konnte die Firma Sotex Sondermaschinen GmbH einen wesentlichen Erkenntniszuwachs gewinnen, wobei sich übertragungsfähige Konzepte auf weitere Anwendungsgebiete anwenden lassen.