

LPW Reinigungssysteme GmbH, Industriestraße 19, 72585 Riederich

System zur adaptiven photonischen Oberflächen- testung mit lernfähiger Bildauswertung in Kombi- nation mit einem Reinigungssystem

Teilvorhaben: Optimierung des Reinigungspro-
zesses durch Adaption der Reinigungsanlage

Entwicklung und Aufbau einer
neuartigen Prüfmaschine für die Automatisierte
Analyse des Restschmutzgehaltes geometrisch
komplexer Bauteile.

Teil II: Eingehende Darstellung

Gerhard Koblenzer
Geschäftsführer

Förderkennzeichen: 13N15474

Projektlaufzeit: 01.04.2021 bis 31.03.2024

Projektträger: VDI Technologiezentrum GmbH im Auftrag des Bundesministeriums für
Bildung und Forschung

Inhaltsverzeichnis

1	Verwendung der Zuwendung.....	3
1.1	Zusammenarbeit.....	3
1.2	Arbeitspaket 1: Entwicklung und Aufbau einer neuartigen Prüfmaschine für die automatisierte Analyse des Restschmutzgehalten geometrischer komplexer Bauteile 4	
1.3	Arbeitspaket 2: Optimierung des Reinigungsprozesses durch Adaption der Reinigungsanlage.....	3
	Arbeitspaket 2.1 Bisherige wichtigste wissenschaftlich-technische Ergebnisse und andere Ereignisse, die Einfluss auf das Vorhaben haben könnten	
	Fehler! Textmarke nicht definiert.	
1.4	Arbeitspaket 3: Bedarfsorientierte Reinigung	4
	Arbeitspaket 3.1: Automatisierte Adaption der Reinigungsparameter basierend auf dem Regelkreis der Messung und Zustand der Reinigungsanlage.....	4
	Arbeitspaket 3.2: Automatisierte Optimierung des Reinigungsprogramms durch verstärkendes Lernen	11
	Arbeitspaket 3.3: Anpassung der Reinigungsanlagen	11
1.5	Arbeitspaket 4: Test des SPOT-Sensors an Reinigungsanlagen zur Mes	11
	Arbeitspaket 4.2 Analyse der Produktionsoptimierung bei Anwendern	11
2	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	11
3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	12

1 Verwendung der Zuwendung

1.1 Zusammenarbeit

Entsprechend dem Projektantrag wurden regelmäßige Projekttreffen im Halbjahresrhythmus abgehalten. Aufgrund der Corona-Pandemie fanden diese entweder ausschließlich digital oder in hybrider Form (sowohl in Freiburg als auch in Dortmund) statt. Ergänzend zu den Projekttreffen hielten die Partner zweiwöchentlich digitale Abstimmungsmeetings ab, um eine effiziente Entwicklung des Sensors sicherzustellen. Die Zusammenarbeit mit den Projektpartnern war stets offen, zuverlässig und von einer kooperativen Haltung geprägt.

Das nachstehende Kapitel behandelt die einzelnen Arbeitspakete nach der Reihenfolge des Starts gemäß Gesamtverbundbeschreibung. Es werden dabei nur diejenigen Arbeitspakete aufgeführt und beschrieben, die für LPW Reinigungssysteme relevant sind. Jeder Abschnitt beinhaltet die Aufgaben des Arbeitspaket, die Beschreibung der Vorgehensweise sowie das Ergebnis.

1.2 Arbeitspaket 1: Optimierung des Reinigungsprozesses durch Adaption der Reinigungsanlage

Für die LPW Reinigungssysteme GmbH stellte der Aufbau einer sensorbasierten Systematik zur Online-Optimierung des Reinigungsprozesses in einer Reinigungsanlage den zweiten wichtigen Bestandteil des Verbundprojektes dar. Dieser Bestandteil war auch in direkter Verbindung mit der gemeinsamen Entwicklung der neuartigen Extraktionsmaschine für Bauteile mit komplexen Geometrien mit der Gläser GmbH gesehen.

Die Arbeiten haben im Wesentlichen in Q3 2021 mit Vorversuchen und der Lastenhefterstellung begonnen. Zentrale Arbeit war die Auswahl einer geeigneten Sensorik sowie der Versuch einer Einbindung in eine geeignete Steuerungstechnik.

Hierbei musste jedoch festgestellt werden, dass die am Markt verfügbaren Sensorlösungen zu träge und untereinander nicht ausreichend kompatibel sind. Daraufhin hat sich die LPW im Q4 2021 dazu entschieden einen neuen Ansatz zu formulieren und diesen mit einem externen Partner im Q1 2022 als Prototyp zu beauftragen.

Die Fertigstellung eines funktionsfähigen Prototyps war gemäß Arbeitsplan auf Q4 2022 geplant.

Die schwer planbare Lieferfähigkeit von Schlüsselkomponenten hatte jedoch negativen Einfluss auf Erreichung der zeitlichen Ziele für dieses Arbeitspaket.

Stand Q1 2023 hatten wir bis auf wenige Schlüsselkomponenten die wesentlichen Bauteile und Sensoren bei einem externen Partner im Aufbau.

Die Einbindung war in unserem reinraumbasierten Test- und Dienstleistungszentrum vorgesehen. Durch einen Brandfall im Januar 2023 wurde der erste Prototyp beschädigt und wir konnten die Fähigkeiten einer Leitrechnereinbindung für die neue Sensorlösung nicht vollumfänglich abbilden.

Aufgrund des Brandfalles und den teilweisen krankheitsbedingten Ausfall im Projektteam konnte dieses Arbeitspaket ab Q3 2023 nicht mehr weiterverfolgt werden. Eine Unterstützung der Firma Gläser im Gesamtprojekt bestand fort.

1.3 Arbeitspaket 2: Entwicklung und Aufbau einer neuartigen Prüfmaschine für die automatisierte Analyse des Restschmutzgehaltes geometrischer komplexer Bauteile

Für die LPW Reinigungssysteme GmbH stellt die gemeinsame Entwicklung der neuartigen Extraktionsmaschine für Bauteile mit komplexen Geometrien mit der Gläser GmbH einen wichtigen Bestandteil für das Verbundprojekt dar.

Die Arbeiten haben im Wesentlichen in Q4 2021 begonnen. Zentrale Arbeit war der Aufbau eines verfahrenstechnischen Prozessplans. Dieser beschreibt die Prozessabläufe, wesentliche Teile der Fluidsteuerung sowie alle erforderlichen Bauteile und Sensoren, die für die Extraktion von Kontamination/Partikeln erforderlich sind. Ein CAD-Modell diente als Grundlage für die Beschaffung der Komponenten, der Montage und der darauffolgenden Versuche.

1.4 Arbeitspaket 3: Bedarfsorientierte Reinigung

Arbeitspaket 3.1: Automatisierte Adaption der Reinigungsparameter basierend auf dem Regelkreis der Messung und Zustand der Reinigungsanlage.

(Gemeinsames Arbeitspaket mit dem Fraunhofer IPM, PI-Innovation, IPS Dortmund und LPW Reinigungssysteme GmbH)

Hauptbestandteil dieses Arbeitspaketes ist die Verbindung der Prozesstechnik von LPW mit der Maschinenteknik von Gläser, zu einer neuartigen Extraktionsmaschine.

Der Toplader in Abbildung 4 hat sich gegenüber dem Frontlader durchgesetzt, da das Toplader-Konzept mehr den Anforderungen der Technischen Sauberkeit entspricht als der Frontlader (Abreinigung, Toträume usw.). Ein weiterer Grund sich für den Toplader zu entscheiden ist, dass das Konzept wesentlich günstiger und somit wirtschaftlicher zu bauen ist und dass das Handling einfacher ist als das des Frontladers. Besonders die Komplexität der Becken machen hier den wesentlichen Unterschied.

Konzept Toplader:

Becken:

Bei der Gestaltung des Beckens mussten mehrere Faktoren bei der Konstruktion beachtet werden, wie zum Beispiel, dass das Becken nicht zu tief wird, damit eine funktionelle Anbindung eines Membranhalters gegeben ist. Hierfür wurde ein platzsparender

Klörperboden verwendet und es wurden die Einlassstutzen aus dem Analysebecken in dem Deckel integriert, um das Luftpolster für die Vakuumzeugung zu minimieren, damit die Funktion gegeben ist, aber auch dass das Becken die geforderte Größe für das Prüfbauteil hat. Außerdem muss das Becken so gut es geht Totraumfrei gestaltet werden, damit eine Partikelverschleppung weitestgehend verhindert werden kann. Auch die Faktoren Isolation und Abdichtung mussten hier besonders betrachtet werden. Das Becken soll mit einer Flächenheizung und Dämmmaterial verkleidet werden, um gegebenen Falls nachzuheizen und den Temperaturverlust zu minimieren.

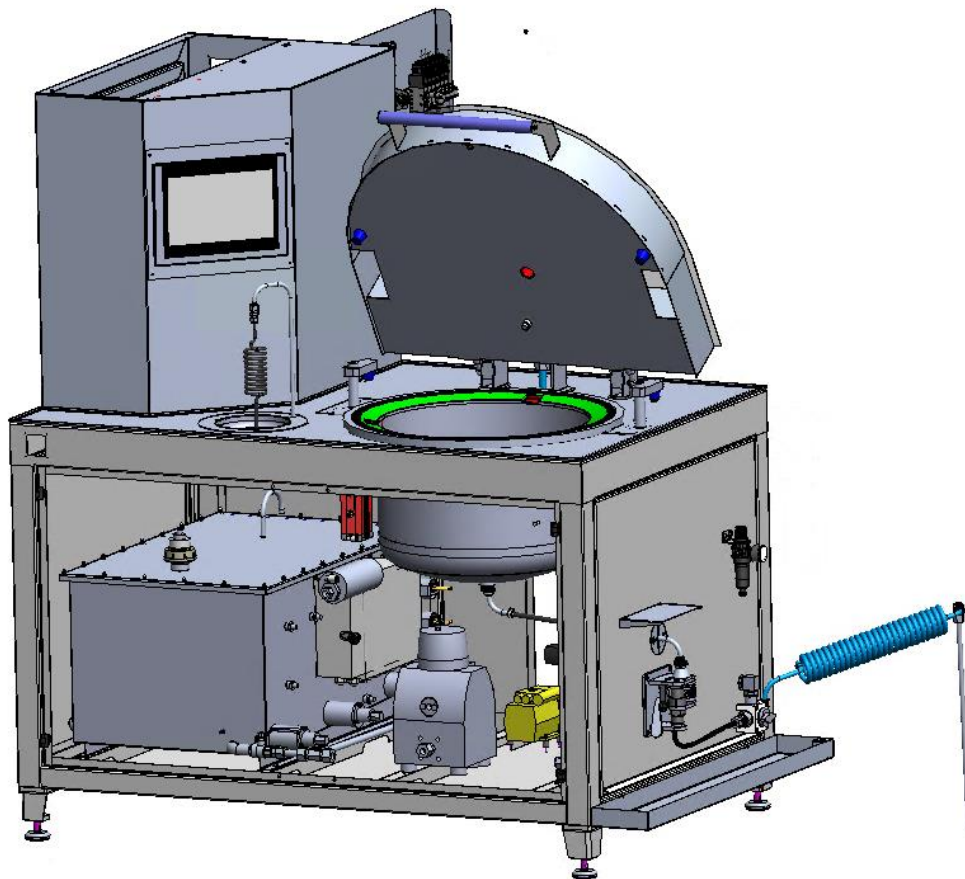


Abbildung 1: Konzept Toploder

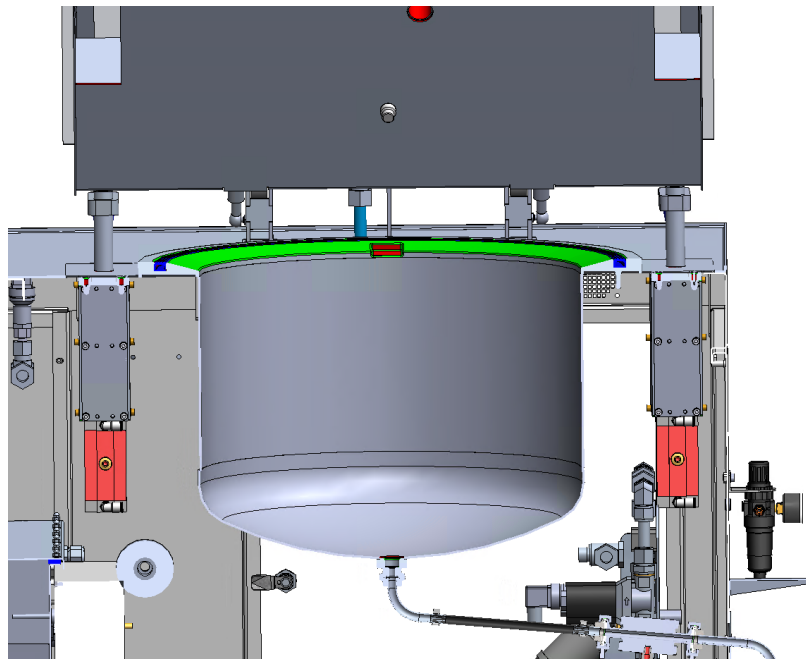


Abbildung 2: Querschnitt Analysebecken

Zur Vermeidung von Toträumen und Hinterschneidungen wurden die Anschlüsse von der Medienversorgung und Sensorik in den Deckel/ Abdeckung der Analysekammer gelegt. Durch die Verlagerung der Medienversorgung kann auch das CNP-Verfahren mit einem geringeren Luftpolster betrieben werden, dadurch kann energiesparender und schneller das Vakuum in der Kammer aufgebaut werden. Bei der Auslegung des Deckels mussten auch die Punkte Stabilität, Gewicht, Sicherheit und Isolation beachtet werden.

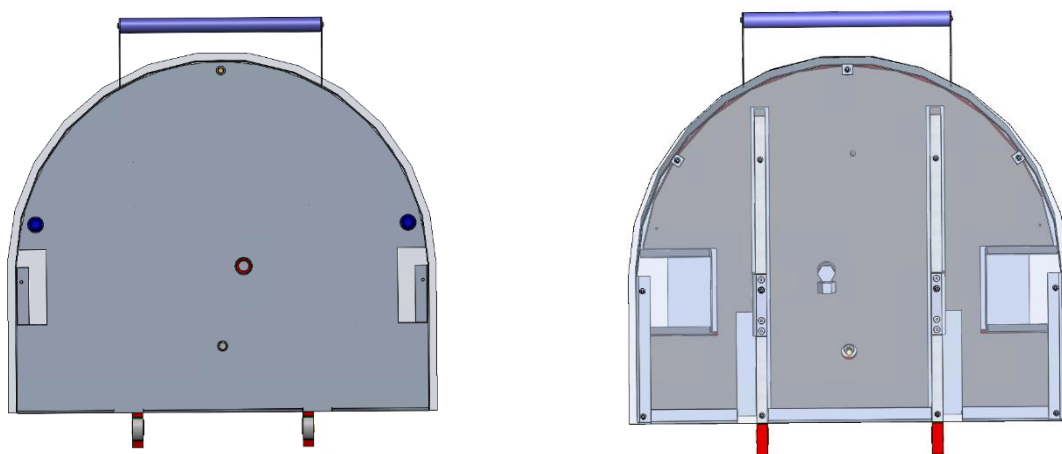


Abbildung 3: Unterseite Deckel (links) und Oberseite Deckel (rechts).

Um den Deckel zu heben und zu schließen, wurde das System mit Gasdruckfedern ausgestattet, die ein benutzerfreundliches Öffnen und Schließen des Deckels ermöglichen sollen. Der Abschluss zwischen Deckel und Analysebecken wird mithilfe einer aufblasbaren Dichtung gewährleistet. Um den Deckel an die Dichtung anzupressen, ist ein Verschlusssystem nötig. Hierfür wurde eine Zuhaltung mit einem Schwenkzylinder (Abbildung 7) gewählt, der zusätzlich ein ungewolltes Öffnen des Deckels verhindert.

Tank

Ein weiterer Entwicklungsschwerpunkt war der Tank für das System.

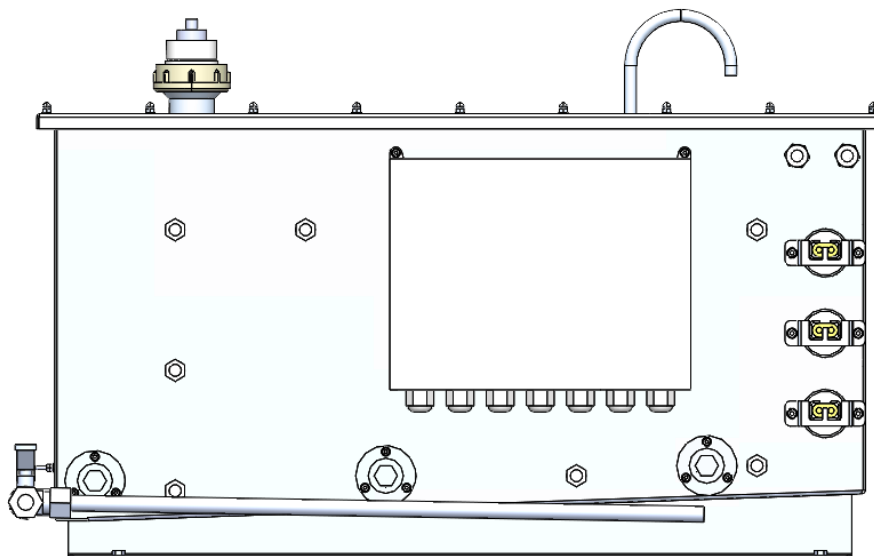


Abbildung 4: Tank

Der Tank wurde unter mehreren Gesichtspunkten entwickelt, wie zum Beispiel Strömungsverhalten und Durchmischung, Aufheizung, UV-Bestrahlung, Selbstreinigung, Sensorauswertung und servicegerechte Auslegung.

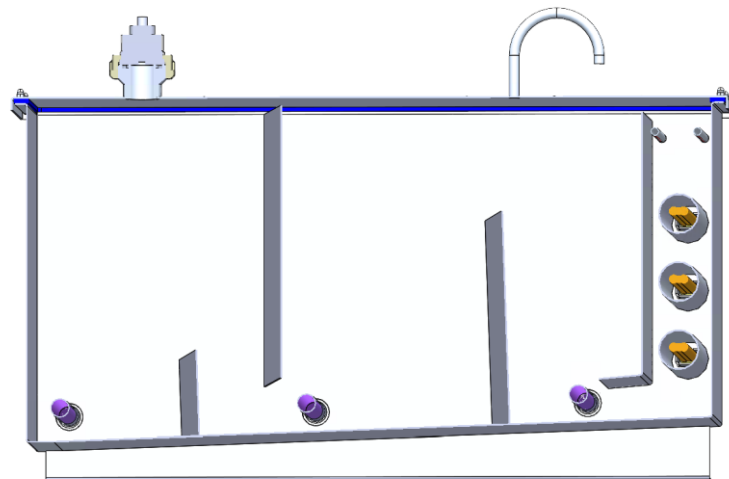


Abbildung 5: Querschnitt Tank

Das Konzept der Vakuumerzeugung wurde überarbeitet von Abbildung 9, mit einer klassischen Vakuumpumpe, zu einer Multinjektor Pumpe auf Basis des Venturi Effektes. Dadurch können die Kosten um zweidrittel gesenkt werden und zum anderen ist die Pumpe um ein Vielfaches kleiner und unempfindlicher gegenüber Wasser. Durch die Wasser -Unempfindlichkeit konnte auch der Abscheider entfallen, der die ursprüngliche Pumpe vor Feuchtigkeit schützen sollte. Durch diese Änderung wurde einiges an Platz gewonnen und es entfällt dadurch auch eine aufwändige Reinigung des Abscheiders (Partikelverschleppung, Reinigung, Verkeimung, Kosten bei Anschaffung und Pflege).

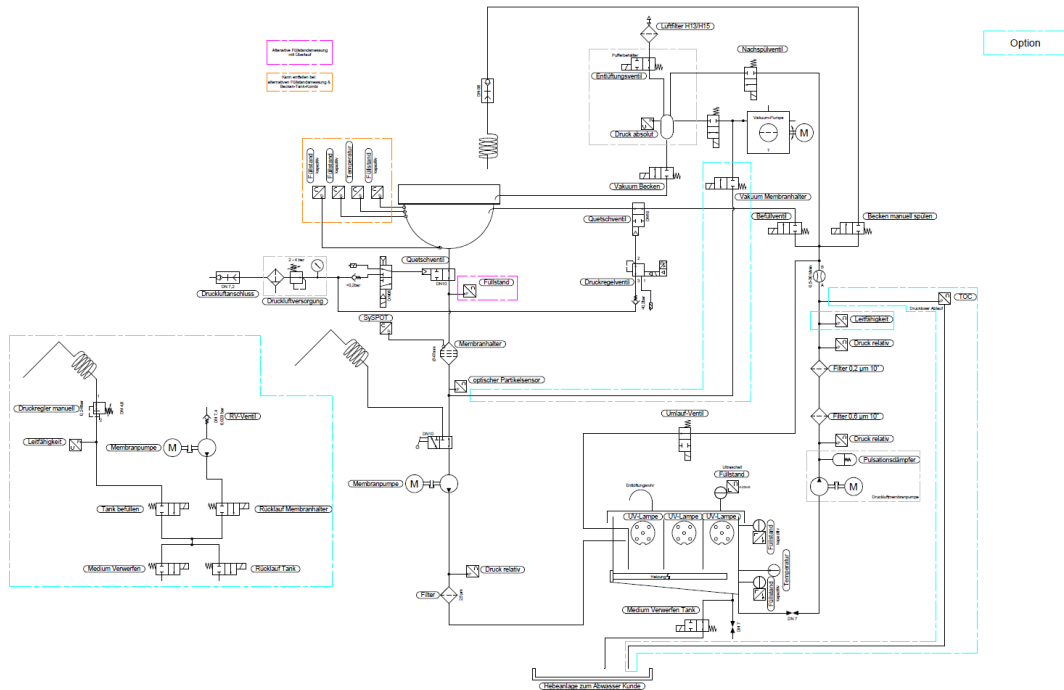


Abbildung 9: Konzept I

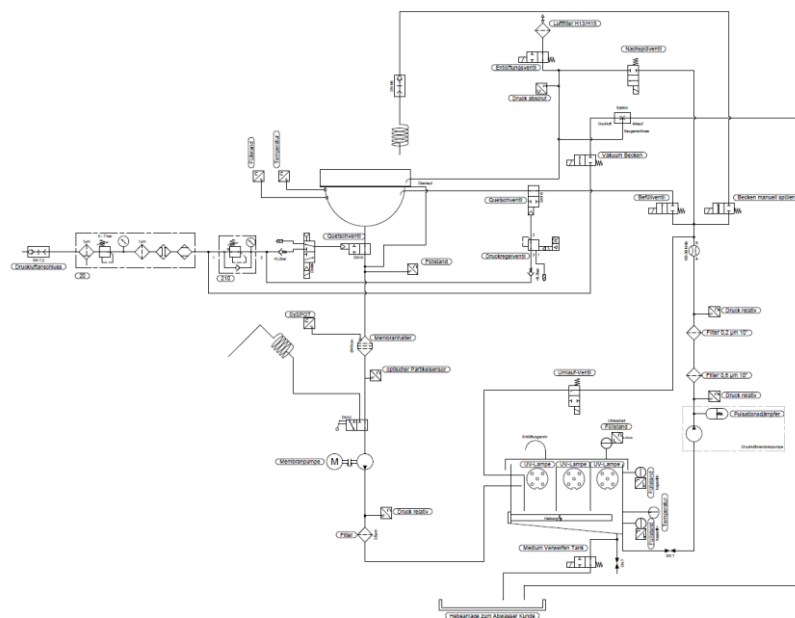


Abbildung 10: Konzept II

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Pneumatik Versorgung der Komponenten.

Um eine effektive Nutzung der verschiedenen pneumatischen Komponenten zu erreichen, wurde in mehreren Versionen ein optimierter Pneumatik-Plan erstellt (Abbildung

11). Auch hierbei liegt das Augenmerk auf der effektiven Nutzung und Funktion der Bauteile sowie eine kompakte Bauweise unter der Berücksichtigung der verschiedenen Anforderungen an Drücken und Volumenstrom der Komponenten. Um die Pneumatik vor Dämpfen oder austretendem Wasser zu schützen wurde ein separater Schaltschrank dafür konzipiert Abbildung 12.

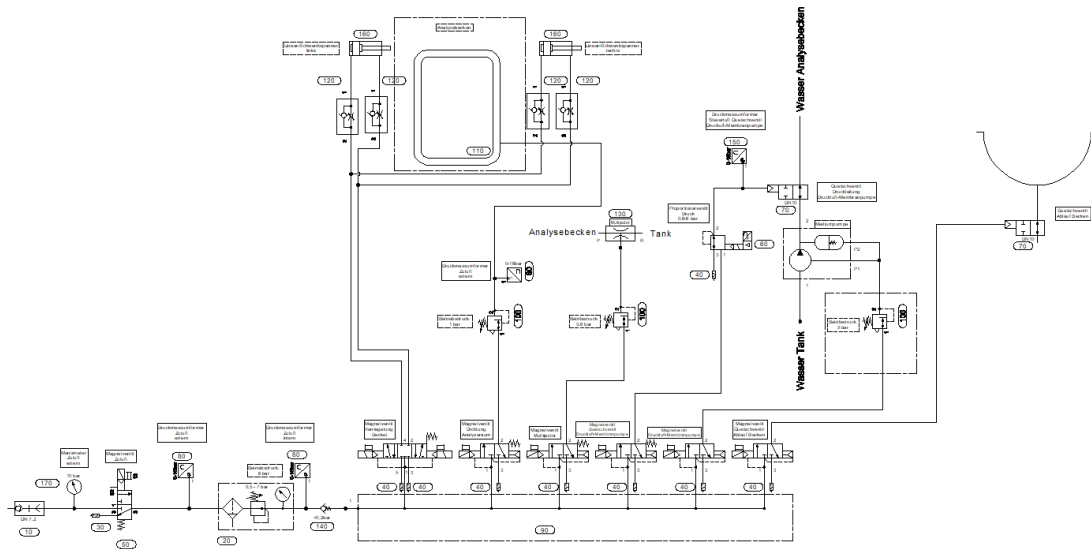


Abbildung 11: Pneumatikplan

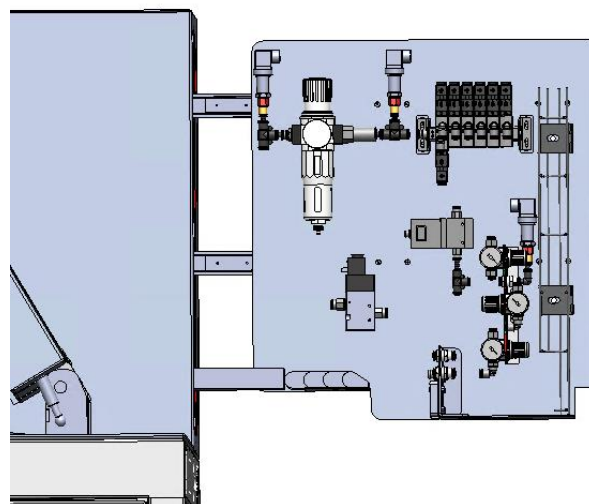


Abbildung 12: Herausziehbare Pneumatik-Platte mit Schleppkette

Arbeitspaket 3.2: Automatisierte Optimierung des Reinigungsprogramms durch verstärkendes Lernen

(Gemeinsames Arbeitspaket mit LPW und dem IPS Dortmund)

Aufgrund des Fortschritts vorhergehender Arbeitspakete konnte AP 3.2 nicht bearbeitet werden. Das hat insofern keine Auswirkungen auf andere Projektpartner, da der Projektpartner LPW die Idee einer Anbindung seinerseits nicht weiterverfolgt.

Arbeitspaket 3.3: Anpassung der Reinigungsanlagen

(Gemeinsames Arbeitspaket mit LPW, Höck und dem IPS Dortmund)

Aufgrund des Fortschritts vorhergehender Arbeitspakete konnte AP 3.3 noch nicht bearbeitet werden. Das hat insofern keine Auswirkungen auf andere Projektpartner, da der Projektpartner und Hersteller von Reinigungsanlagen LPW die Idee einer Anbindung seinerseits nicht weiterverfolgt. Daher war eine Anpassung der Reinigungsanlagen nicht nötig/möglich.

1.5 Arbeitspaket 4: Test des SPOT-Sensors an Reinigungsanlagen zur Messung

Arbeitspaket 4.2 Analyse der Produktionsoptimierung bei Anwendern

(Gemeinsames Arbeitspaket mit LPW, Höck und dem IPS Dortmund)

Konnte nicht durchgeführt werden, da die Maschine und dessen Anbindung an den Sensor aus oben genannten Gründen nicht realisiert werden konnte.

2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Erstellung und Einreichung des zahlenmäßigen Nachweises erfolgten separat durch die Geschäftsleitung. Der wichtigste Kostenpunkt darin betrifft die Personalkosten, welche auf das interdisziplinäre Projektteam entfallen. Dieses Team setzte sich aus Ingenieuren, Technikern und Labormitarbeitern zusammen. Die Einbindung erfahrener wissenschaftlicher Mitarbeiter war aufgrund des hohen technischen Aufwands und der Komplexität der zur Erreichung der Projektziele erforderlichen Aufgaben zwingend notwendig.

Ein weiterer Kostenfaktor sind die Sachkosten für Komponenten und Verbrauchsmaterialien, die hauptsächlich für die Auswertung mit dem Sensor verwendet wurden. Die

Reisekosten umfassen vorwiegend die Kosten für die Projekttreffen mit unseren Projektpartnern und Messebesuche.

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Das zentrale Ziel des Projekts bestand in der Entwicklung eines vollautomatisierten und flexibel einsetzbaren Inline-Systems zur Partikeldetektion und -klassifikation. Dieses System sollte im Wesentlichen aus drei Hauptkomponenten bestehen:

1. einem Sensorkopf, der die Bilddaten erfasst,
2. einem Aktuator, der das Abscannen der Proben ermöglicht, und
3. einem neuronalen Netzwerk, das die Daten des Sensors analysiert.

Im Rahmen des Projekts übernahm die Gläser GmbH primär die Verantwortung für das Testen und Optimieren des Sensors, der Sensorsoftware und der Auswertesoftware gemeinsam mit den Projektpartnern. Darüber hinaus sollte der Sensor in eine neuartige und neuentwickelte Partikelextraktionsmaschine integriert werden. Es ist gelungen, den Sensor so weit zu optimieren, dass eine Reduktion der Durchlaufzeit um 75 % erreicht wurde. Damit ist die Durchlaufzeit von 20 Minuten für die Erfassung einer Membran um 40 % schneller als bei einem herkömmlichen Lichtmikroskop, welches den aktuellen Stand der Technik repräsentiert. Darüber hinaus erhalten wir durch die 4 Aufnahmen aus unterschiedlichen Beleuchtungswinkeln deutlich mehr Informationen über die vorliegenden Partikel, was eine Einschätzung der Kritikalität erleichtert. Ein weiterer Benefit, der sich aus dem Projekt ergeben hat, ist das sehr gute Erkennen von transparenten und hellen Partikeln durch die UV-Belichtung. Diese Partikel werden aufgrund des zu geringen Kontrastes von klassischen Lichtmikroskopen, die für die Partikelanalyse eingesetzt werden, nicht erkannt. Zusammenfassend bietet der Sensor einen deutlichen Mehrwert und hebt sich dadurch vom aktuellen Stand der Technik ab. Gemeinsam mit dem neuronalen Netz welches Partikel anhand ihrer Farbe, Struktur und anderen Charakteristika analysiert und eine mögliche Herkunft der Partikel ausgibt, bildet der Sensor zukünftig die Grundlage für eine schnellere und bessere Auswertung von Partikeln zur Bewertung der technischen Sauberkeit von Bauteilen.

Mit dem Demonstrator konnte die Praxistauglichkeit des Systems erfolgreich validiert werden. Die Erfüllung der gestellten Anforderungen war nur durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit (Optik, Mechanik, Künstliche Intelligenz und Anwendung) möglich. Eine enge Kooperation zwischen allen beteiligten Projektpartnern war entscheidend für den Erfolg des Projekts. Ohne die bereitgestellte Förderung wäre diese Kooperation und die daraus resultierenden Ergebnisse nicht realisierbar gewesen.