



Schlussbericht INVENT GmbH

3DEMO – FKZ 03ET1660H

Datum: 03.04.2023
Erstellt durch: LIHA
Ausgabe: A

Titel des Berichts:

Schlussbericht

Akronym:

3DEMO

Projekttitel:

EnOB: 3DEMO - Sichere und energieeffiziente Fabriken durch 3D Emission Monitoring

Titel des Teilvorhabens:

Emissionsmonitoring in der Komponentenfertigung für die Luft- und Raumfahrttechnik

Laufzeit:

01. April 2019 - 30. September 2022

Beschreibung:

Der vorliegende Bericht fasst die Beiträge der INVENT GmbH, die im Vorhaben „3DEMO: Sichere und energieeffiziente Fabriken durch 3D Emission Monitoring“ erarbeitet wurden, zusammen.

Förderkennzeichen: 03ET1660H

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

 INVENT	Schlussbericht INVENT GmbH 3DEMO – FKZ 03ET1660H	Datum: 03.04.2023 Erstellt durch: LIHA Ausgabe: A
---	---	---

1 Aufgabenstellung

Die Umgebungsbedingungen in Produktionshallen von Industriebetrieben bestimmen nicht nur die Prozess- und Produktqualität, sondern auch die Arbeitssicherheit und Arbeitsbedingungen der Mitarbeiter. Die kontinuierliche Sicherstellung dieser Umgebungsbedingungen durch raumluftechnische (RLT) Anlagen steht im Zielkonflikt mit deren Energiebedarf, der einen erheblichen Anteil am Energiebedarf der Industrie in Deutschland ausmacht. In der Praxis werden raumluftechnische Anlagen basierend auf Normen, technischen Regeln und Erfahrungswerten – meistens überdimensioniert – ausgelegt und durch nicht ausreichende Kenntnis des Systemzustandes auch ineffizient betrieben.

In dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderten Forschungsprojekt 3DEMO wurde daher die Entwicklung eines Systems zur echtzeitnahen, ortsauf lösenden Überwachung wichtiger Raumlufteigenschaften in Produktionsumgebungen als Grundlage für eine bedarfsgerechte, zeitkritische Regelung der energieintensiven raumluftechnischen Anlagen (RLT) (Abluft, Zuluft, Kühlung, Heizung, Umluft, etc.) und weiterer Elemente der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) als Ziel definiert.

Die wesentlichen Forschungsziele des Teilverhabens leiten sich direkt aus dem Gesamtsystem ab. Ziel der INVENT GmbH ist ein deutlich verringelter Energiebedarf bei mindestens gleichbleibender oder reduzierter Partikelbelastung für den Mitarbeiter und in der gesamten Raumluft. Eine geringe Partikelbelastung ist über die mechanische Bauteilbearbeitung wie Nachbearbeitung, Fräse und Säge hinaus sehr wichtig, da ein erfolgreiches Konzept auf die sensiblen Bereiche, wie z.B. Reinraum und Integrationsraum, ausgeweitet werden kann, in denen die Einhaltung von Partikelkonzentrationen prozess- und qualitätsrelevant sind, und sich somit eine direkte Anschlussverwertung des PSS ergibt.

2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Verbundvorhaben wurde initiiert, um neue Technologien zu entwickeln und auf ein anwendungsnäheres Niveau zu heben. Die wachsende Nachfrage nach energieeffizienter Herstellung von Faserkunststoffverbunden in der Luft- und Raumfahrtfahrtindustrie soll mit innovativen Lösungen begegnet werden. Hauptvoraussetzung für die Vorhabendurchführung war die Fusion der einzelnen und vor allem branchenübergreifenden Fachkompetenzen der am Projekt beteiligten Partner. Für die erfolgreiche Bearbeitung des Vorhabens waren die Verteilung, Bearbeitung und Koordinierung der Aufgaben entsprechend der jeweiligen Kompetenzfelder nötig, sowie ein intensiver Austausch zwischen den Partnern über die Anforderungen der jeweils branchenüblichen Werkstoffe und Prozesse. Das Konsortium

 INVENT	Schlussbericht INVENT GmbH 3DEMO – FKZ 03ET1660H	Datum: 03.04.2023 Erstellt durch: LIHA Ausgabe: A
---	---	---

wurde somit aus einer sinnvollen und erfolgsorientierten Kombination innovativer Partner gebildet.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Im Forschungsverbund sind acht Unternehmen (6 KMU, 2 GU) und zwei Universitätsinstitute zusammengeschlossen. Die Arbeitspakete (AP) wurden jeweils von einem Partner federführend betreut, es arbeiteten jedoch mehrere Partner in einem Arbeitspaket zusammen. Die Koordination des Verbundes erfolgte durch die TU Braunschweig und die Arbeiten auf Basis eines Kooperationsvertrags, eines abgestimmten Arbeitsplans und der Inhalte der Gesamtvorhabenbeschreibung. In Telefonkonferenzen und Projekttreffen wurde dieser Rahmen regelmäßig verfeinert und abgestimmt.

Die INVENT GmbH engagierte sich in den für sie geplanten Arbeitspaketen und übernahm im Verbundvorhaben folgende Aufgaben und Funktionen für das Emissionsmonitoring in der Komponentenfertigung für die Luft- und Raumfahrttechnik:

- Bestandsaufnahme der TGA durch Bereitstellung eines dreidimensionalen Modells der betroffenen Räumlichkeiten
- Aufstellen einer Daten- und Anforderungsanalyse für die CFK- und GFK-Bearbeitung für eine geeignete Messstrategie
- Ermöglichen eines Teleservices und der prototypischen Implementierung des Systems in den betroffenen Räumlichkeiten

4 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

Im Bereich der Sensornetzwerke existieren Systemkonzepte diverser Anbieter der Gebäudeautomation am Markt, jedoch sind kabelgebundene Systeme mit einem hohen Installationsaufwand verbunden. Für die Überführung von Bauwerksinformationsmodellen (BIM) in Modelle für gekoppelte Gebäude- und Anlagensimulationen konnten im Rahmen von früheren Forschungsarbeiten keine praxistauglichen Werkzeuge etabliert werden. Bisher werden 3D-Fluid-Simulations-Analysen im Rahmen von Produkt- und Produktionssystementwicklungen angewendet, nicht aber im Echtzeit-Einsatz in der Regelung von Lüftungsanlagen. Die Visualisierung echtzeitnaher 3D-Fluid-Daten auf Mobilgeräten ist bisher nur bedingt in Forschungsansätzen umgesetzt worden und entspricht noch nicht dem Stand der Technik. Für den erfolgreichen Einsatz ist hier es notwendig, eine

 INVENT	Schlussbericht INVENT GmbH 3DEMO – FKZ 03ET1660H	Datum: 03.04.2023 Erstellt durch: LIHA Ausgabe: A
--	---	---

zielgruppengerechte und dem demographischen Wandel angepasste Anwendung und deren Bedienbarkeit sicherzustellen.

Die INVENT GmbH agiert in dem Forschungsvorhaben als Anwendungspartner. Sie entwickelt, realisiert und vermarktet kundenspezifische Faserverbundtechnologien für hochwertige technische Bauteile, die in der Luft- und Raumfahrtindustrie, der Verkehrstechnik sowie im Maschinenbau eingesetzt werden. Eine effizient gesteuerte RLT und daraus resultierende geringe Partikelbelastung bei der mechanischen Bearbeitung hochpräziser Faserverbundstrukturen ist nicht nur für die Bauteile relevant, sondern auch für die Gesundheit der Mitarbeiter.

Der technische und wissenschaftliche Stand der Technik zum Ende des Vorhabens hat sich für INVENT dahingehend geändert, dass die eingangs erwähnten Ziele erfüllt worden sind. Es ist gelungen ein prototypisches System zu implementieren, dass zum einen die energieeffizientere Steuerung für einen Frästraum übernimmt und zum anderen das Monitoring der anderen Zerspanungsräume.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Projekt 3DEMO wurde in guter Zusammenarbeit mit allen Projektpartnern durchgeführt. Durch die branchenübergreifenden Fachkompetenzen der Projektpartner konnten alle Aufgaben mittels einer projektinternen Verteilung bearbeitet werden. Für INVENT war somit eine Zusammenarbeit mit anderen Stellen nicht notwendig.

6 Erzielte Ergebnisse im Einzelnen

6.1 AP1.1 Entwicklung einer geeigneten Messstrategie

Die Entwicklung einer geeigneten Messtrategie startete mit einer Vorort-Begehung mit dem Projektkonsortium. Es wurden Messgrößen und sinnvolle Verteilungen der Sensorknoten diskutiert und ausgewählt. Relevante Messgrößen sind

- Partikel
- Luftströmung/-druck
- Temperatur
- Ggf. Luftfeuchte.

Bei der INVENT GmbH ist der primäre Einsatz im Bereich der mechanischen Nachbearbeitung von CFK und GFK vorgesehen. Die Platzierung der Sensoren sieht sich dem Konflikt ausgesetzt, dass die Partikelkonzentration für Facharbeiter besonders relevant ist. Diese ist zwar an den Maschinen relativ hoch anzunehmen, die Maschine im unbetriebenen Zustand hingegen von geringer Relevanz, sodass zwischen einem personengebundenen und einem maschinengebundenen Sensor abgewogen werden muss.

Die Positionierung der Multisensorknoten hängt von der Verteilung der Arbeitsplätze und Maschinen in den Räumlichkeiten sowie von der erwarteten Partikelbelastung des Messortes ab. Mit Hilfe eines Lageplans der Räumlichkeiten der mechanischen Nachbearbeitung wurden die Sensorknoten verteilt und im Konsortium abgestimmt (siehe Abbildung 1). Der aufgezeichnete Maschinenlog diente bei der Positionierung der Multisensorknoten als weitere grundlegende Komponente zur Identifikation der Maschinenauslastung und der erwarteten Partikelkonzentration. (Bezug zu AP 3.2)

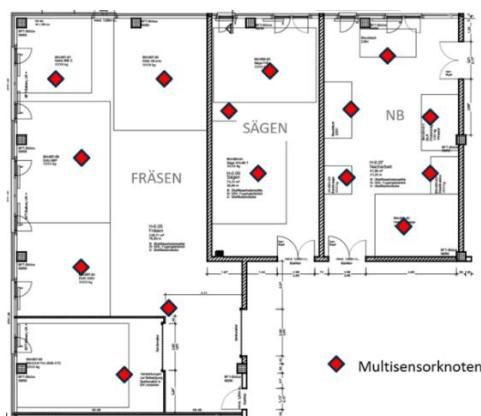


Abbildung 1: Mögliche Positionen der Multisensorknoten in der Zerspanung bei INVENT.

Im Laufe des Projektes wurde die Messstrategie erweitert, da durch eine Anpassung der RLT-Anlage im Haus der INVENT GmbH auch die bisher entwickelte Messstrategie zu überarbeiten war. In einem der Räume wurde eine mobile Absaugung installiert.

Das bisherige Absaugungskonzept der Flachbettfräse hatte direkt am Fräser die entstandenen Partikel abgesaugt. Da bei dieser Fräse keine Umhausung vorhanden ist, verteilen sich die nicht abgesaugten Partikel in der Raumluft (siehe Abbildung 2). Dies führte zeitweise zu einer zu hohen Partikelbelastung der Raumluft und erforderte bei Betreten des Raumes das Tragen einer Atemschutzmaske mit entsprechender Schutzklasse.

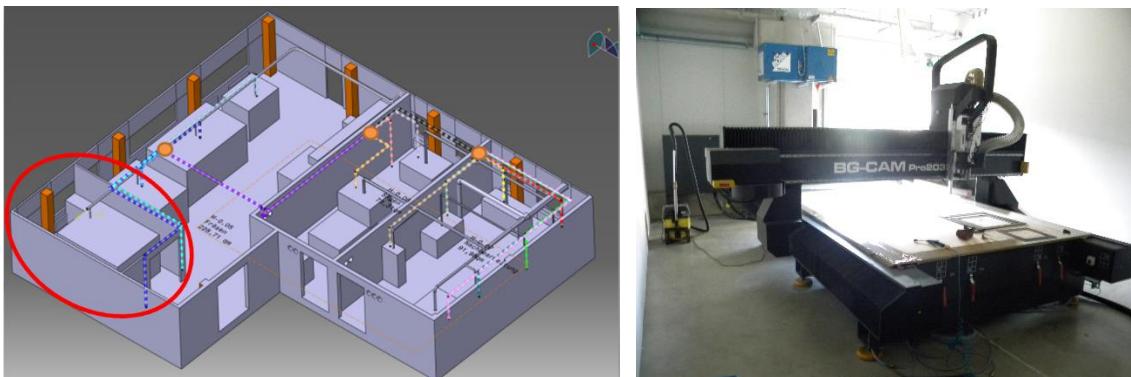


Abbildung 2: Frärraum Flachbettfräse

Um die Partikelbelastung im betroffenen Raum zu senken, wurde ein mobiler Vacomat installiert, welcher über eine höhere Absaugleistung verfügt. Der Vacomat besitzt zwei Absaugpunkte. Ein Punkt befindet sich am Fräskopf, wo direkt die Partikel am Entstehungsort abgeführt werden. Der zweite Absauganschluss ist im Raum montiert, über welchen die Raumluft bereinigt wird.

Die in Abbildung 1 gezeigte Verteilung der Sensorknoten und der schon verlegten Kabel wurden beibehalten. So wird der geplante Sensorknoten im Raum der Flachbettfräse zur Steuerung des Vacomaten und die übrigen Sensorknoten als Überwachung und Kontrolle der Partikelbelastung der übrigen Räume genutzt.

In der Abbildung 3 ist die Steuerung der Lüftungsanlage schematisch dargestellt. Über einen Druckschalter lässt sich der Vacomat einschalten (grüner Schalter). Zeitgleich öffnet sich der Energiesparschieber „Fräse“ und gibt den Weg für eine lokale Absaugung der Partikel am Entstehungsort frei. Der Energiesparschieber „Raum“ bleibt hierbei geschlossen. Im Hintergrund wird die Partikelbelastung im Raum über die Sensorknoten gemessen. Durch Betätigen des roten Schalters schließt der Schieber „Fräse“. Der Schieber „Raum“ öffnet sich. Über den zweiten Ansaugkanal wird nun die verunreinigte Luft angesaugt, durch den

Vacomaten bereinigt und in den Raum zurückgeführt. Hierbei misst der Sensorknoten die Partikelbelastung im Raum. Wird der Partikelbelastungsgrenzwert unterschritten, wird ein Signal über die Steuerung an den Vacomaten ausgegeben und dieser schaltet sich ab.

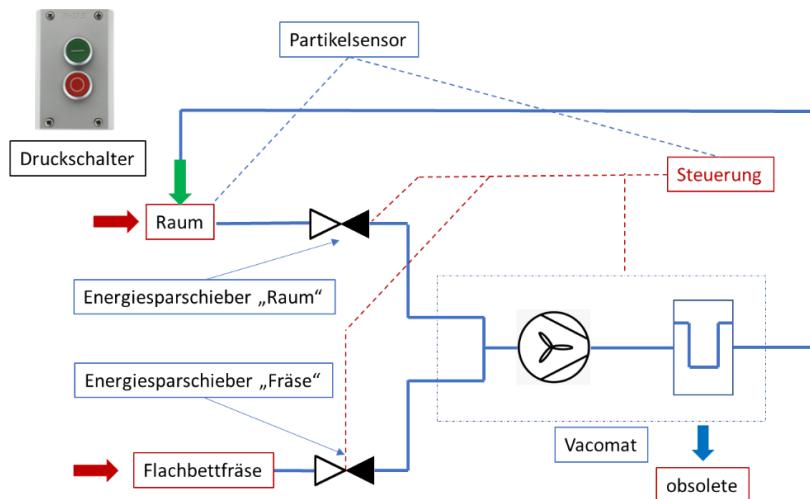


Abbildung 3: Schaltplan

Für die anderen Räume wurde lediglich eine Überwachung der Partikelbelastung mit Hilfe der Sensorknoten umgesetzt. Mit Hilfe von Bildschirmen, die in den einzelnen Räumen montiert sind, wurden Anzeigen generiert, welche die aktuellen Belastungen darstellen. Des Weiteren gibt es ein Warnsystem, welches die Überschreitung der Partikelbelastungsgrenzwerts anzeigt.

6.2 AP3.1 Bestandsaufnahme der TGA

Bei der Bestandsaufnahme der TGA wurden unter Leitung des IWF in enger Abstimmung mit den Verbundpartnern die Anlagen, Räumlichkeiten und Randbedingungen (z.B. Schaltpläne) aufgenommen, um daraus ein 3D-Modell und ein Lüftungskonzept zu entwickeln, das im weiteren Projektverlauf erprobt und optimiert werden konnte.

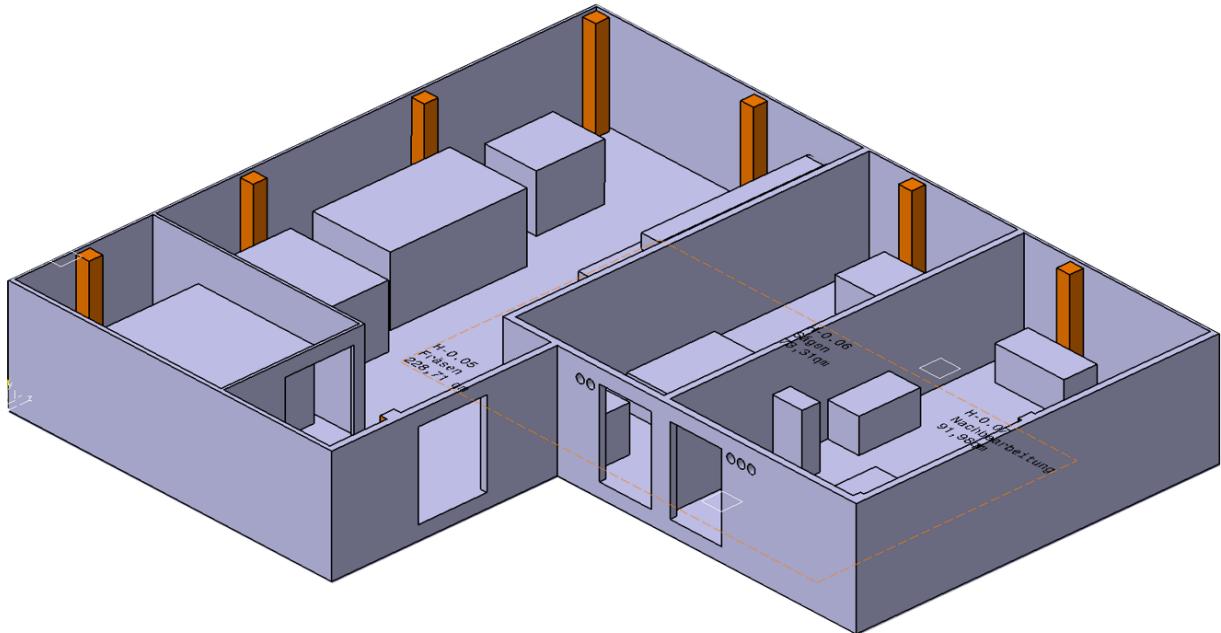


Abbildung 4: Positionierung der zerspanenden Anlagen in den betroffenen Räumlichkeiten der zur Verfügung gestellten Infrastruktur bei INVENT.

Das bestehende Modell der zerspanungstechnischen Räumlichkeiten wurde anschließend hinsichtlich der RLT-Abluftschächte an den einzelnen Maschinen in den Räumlichkeiten ergänzt.

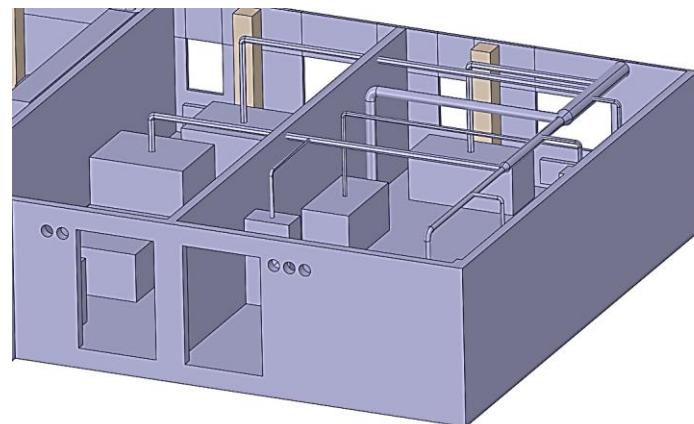


Abbildung 5: Ausschnitt aus dem Modell der zerspanungstechnischen Räumlichkeiten bei INVENT. Die Anlagen wurden durch die RLT-Abluftschächte ergänzt

Unter anderem ist aus dem Modell die Ableitung der Positionen der in AP3.3 genannten Multisensorknoten erfolgt. Die Anzahl beziehungsweise die Positionen der Multisensorknoten ist wesentlich von der zu erwartenden Partikelkonzentration in direkter Umgebung der betroffenen Anlage abhängig.

Des Weiteren wurde die Aufteilung der RLT-Anlage in zwei Hauptstränge berücksichtigt. Die Räumlichkeiten mit eingehausten Fräsen befinden sich im ersten Strang, die Sägen und die manuelle Nachbearbeitung sind im zweiten Strang implementiert.

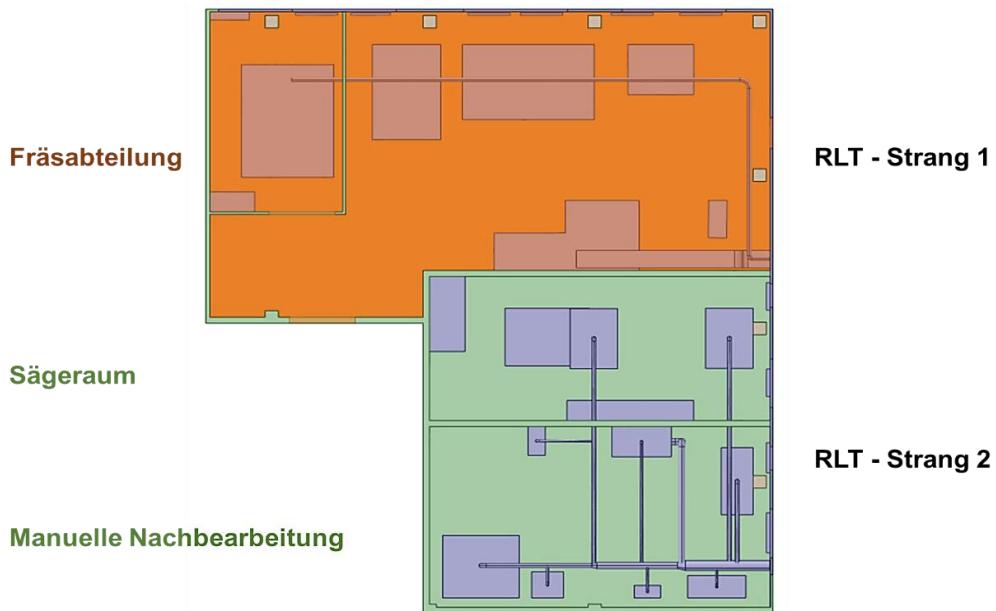


Abbildung 6: Die RLT – Anlage ist auf zwei Stränge aufgeteilt. Im ersten Strang ist die Fräسابteilung, im zweiten Strang ist der Sägeraum und die manuelle Nachbearbeitung implementiert.

Die Aktivierung der Absaugung erfolgt lokal und automatisch bei der Aktivierung der aktuell verwendeten Anlage. In diesem Fall öffnet die Lüftungsklappe in dem zur Maschine führenden Abluftkanal, sodass eine konstante und während dem Maschinenbetrieb permanente Absaugung zur Verfügung steht. Für den Abgleich der Eingangsparameter der Strömungssimulation wurde ein Konzept hinsichtlich der zu erwartenden Luftströme und laminaren Strömungen erstellt. Die Zuluft wird über lokale Luftsäume in die Räume geleitet. Die Abluft wird über die Absaugung indirekt über die einzelnen Anlagenabsaugungen aus den Räumen gefördert. Infolge der indirekten Absaugung sind bei der Strömungssimulation keine relevanten Luftverwirbelungen in den Räumen zu erwarten. Sie bildeten die Grundlage für die späteren Arbeiten wie die Erarbeitung und Implementierung von Betriebsstrategien und das anschließende Zusammenstellen und Betreiben des spezifischen Produkt-Service-Systems (PSS).

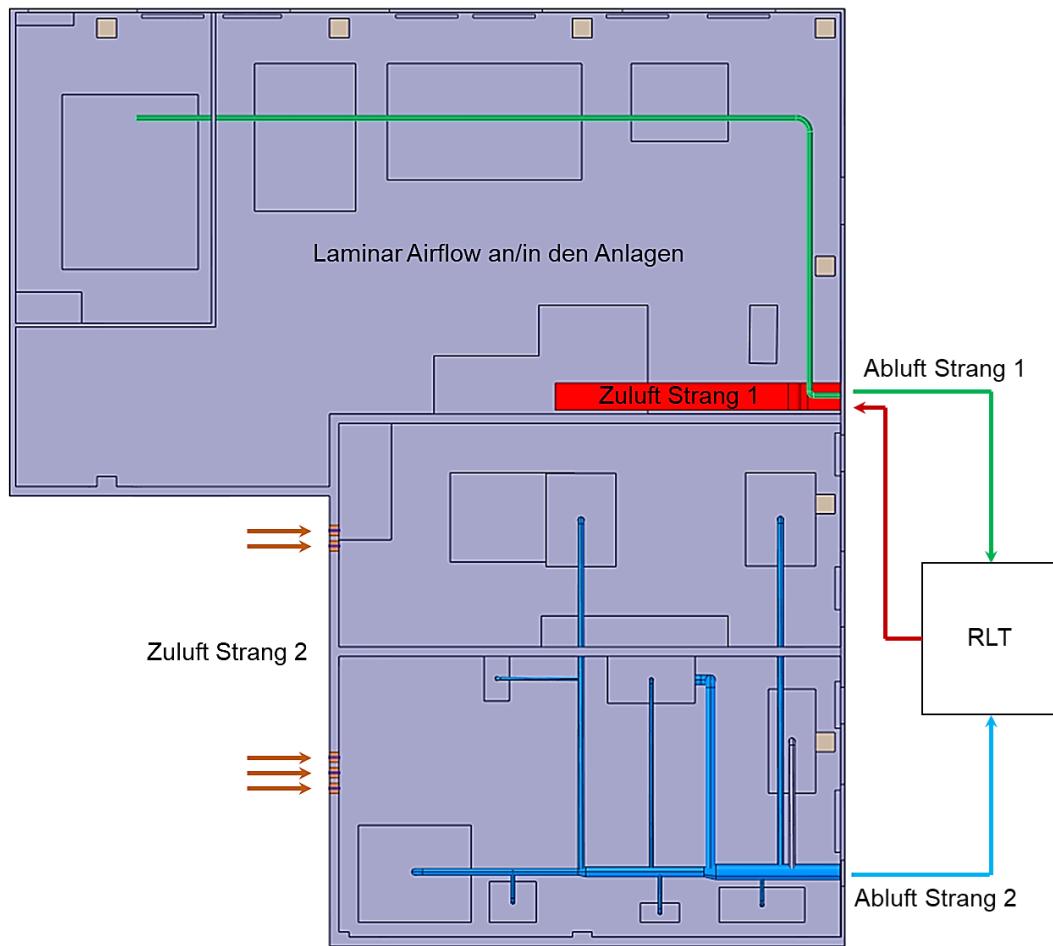


Abbildung 7: Konzept für die Eingangsparameter der Strömungssimulation während der TGA-Bestandsaufnahme

	Schlussbericht INVENT GmbH 3DEMO – FKZ 03ET1660H	Datum: 03.04.2023 Erstellt durch: LIHA Ausgabe: A
---	---	---

6.3 AP3.2 Energiedatenerfassung

Die Energiedatenerfassung wurde gemeinsam mit dem Projektpartner Online IAT an der RLT-Anlage des Zerspanungsbereiches bei INVENT durchgeführt. Während eines Zeitfensters von 2 Wochen wurde mittels Strom-/Spannungsmessung der Energieverbrauch der RLT-Anlage gemessen und mittels Datenlogger aufgezeichnet. Parallel zur Energiedatenerfassung wurde die Auslastung der zerspanenden Anlagen festgehalten (Maschinenlog). Dokumentiert wurden dabei die Anzahl und Zeitfenster der einzeln und parallel laufenden Maschinen und der aktuell mit der Maschine bearbeitete Werkstoff. Der Energieverbrauch der RTL-Anlage wurde mit den Aufzeichnungen der laufenden Maschinen für die einzelnen Tage zusammengeführt und gemeinsam analysiert (Beispielhaft der 11.10.19 Abbildung 8).

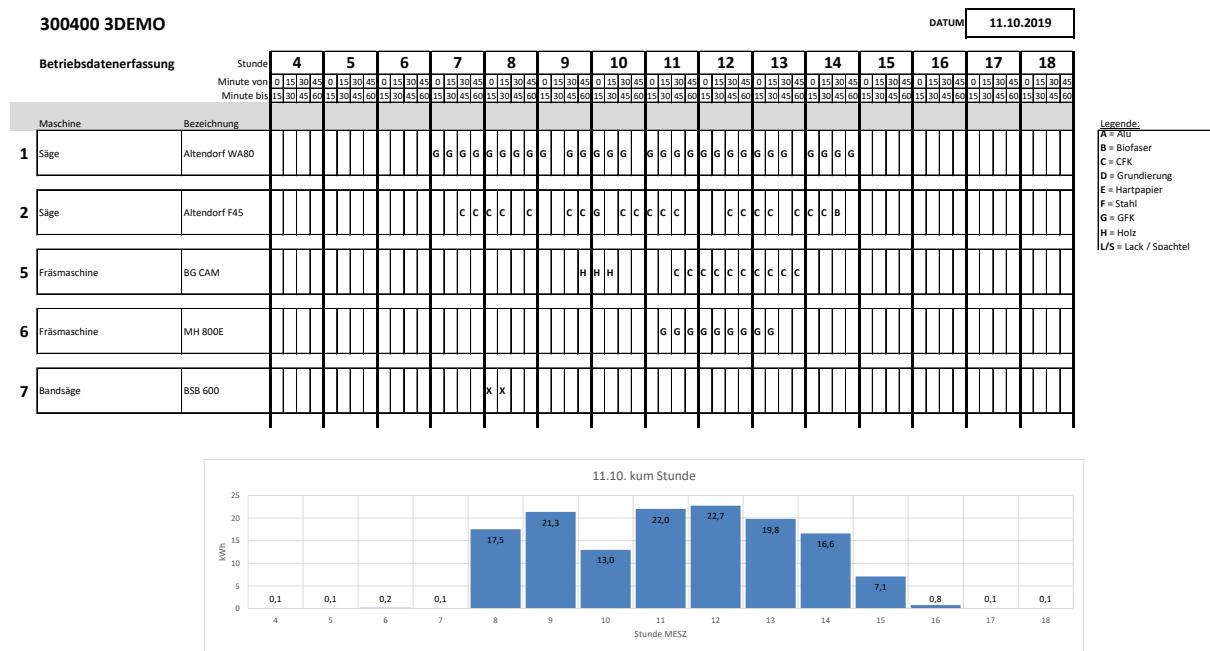


Abbildung 8: Maschinenlog [INV] und Energiedatenerfassung [Online IAT] vom 11.10.19

Die Erfassung der Betriebsstunden der einzelnen Anlagen bot unter anderem die Grundlage bei der Simulation der Lüftung die verschiedenen Lastzustände zu unterscheiden. Abbildung 9 zeigt die Betriebsstunden der Maschinen in dem gemessenen Zeitraum. Die Säge 1 und die Fräsmaschine 5 zeigen eine hohe Maschinenauslastung und daher ist hier von einer höheren Partikelkonzentration auszugehen als beispielsweise im Bereich der Nacharbeit (NB).

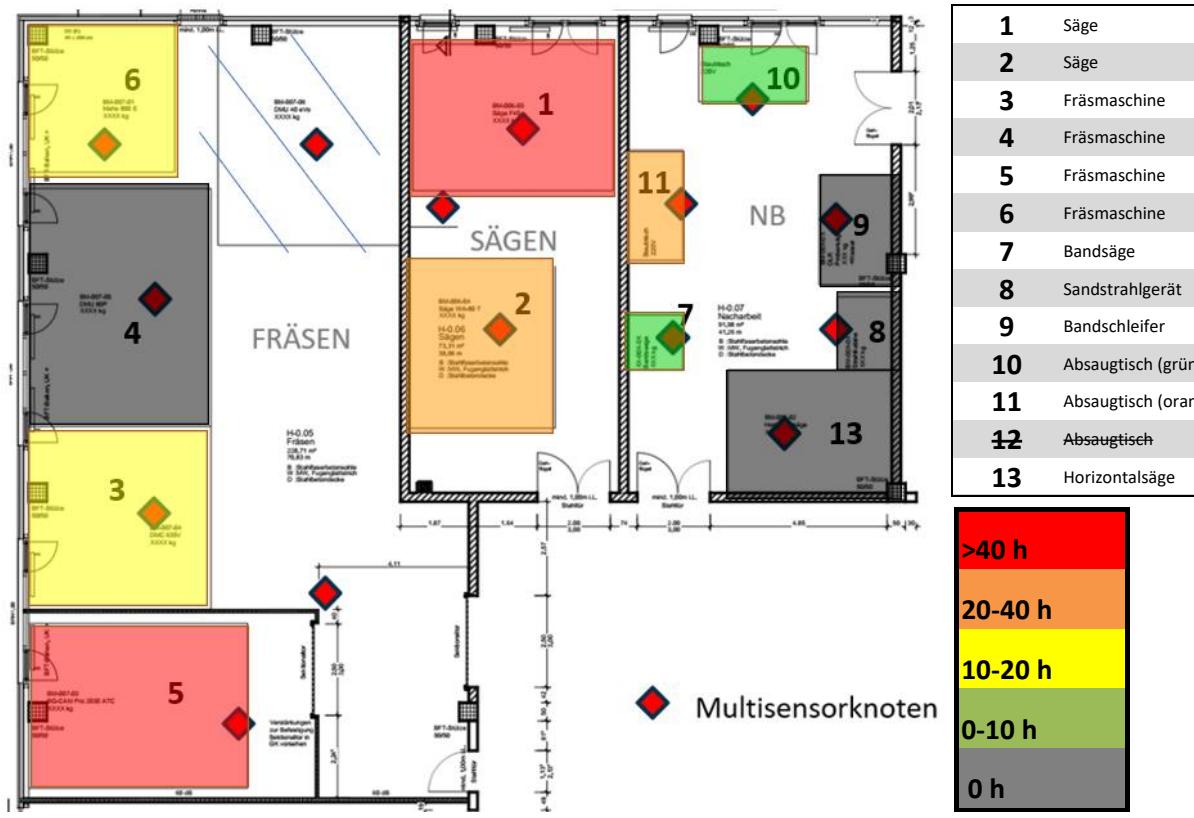


Abbildung 9: Position der Sensorkonten mit Betriebsstunden der Maschinen

6.4 AP3.3 Herstellen der nötigen Infrastruktur

Für die Herstellung der nötigen Infrastruktur wurden auf Grundlage der Sensorknotenverteilung in AP1.1 die Netzwerkkabel virtuell in das erstellte dreidimensionale Modell und anschließend physisch in den Zerspanungsräumen verlegt (siehe Abbildung 10 und Abbildung 11).

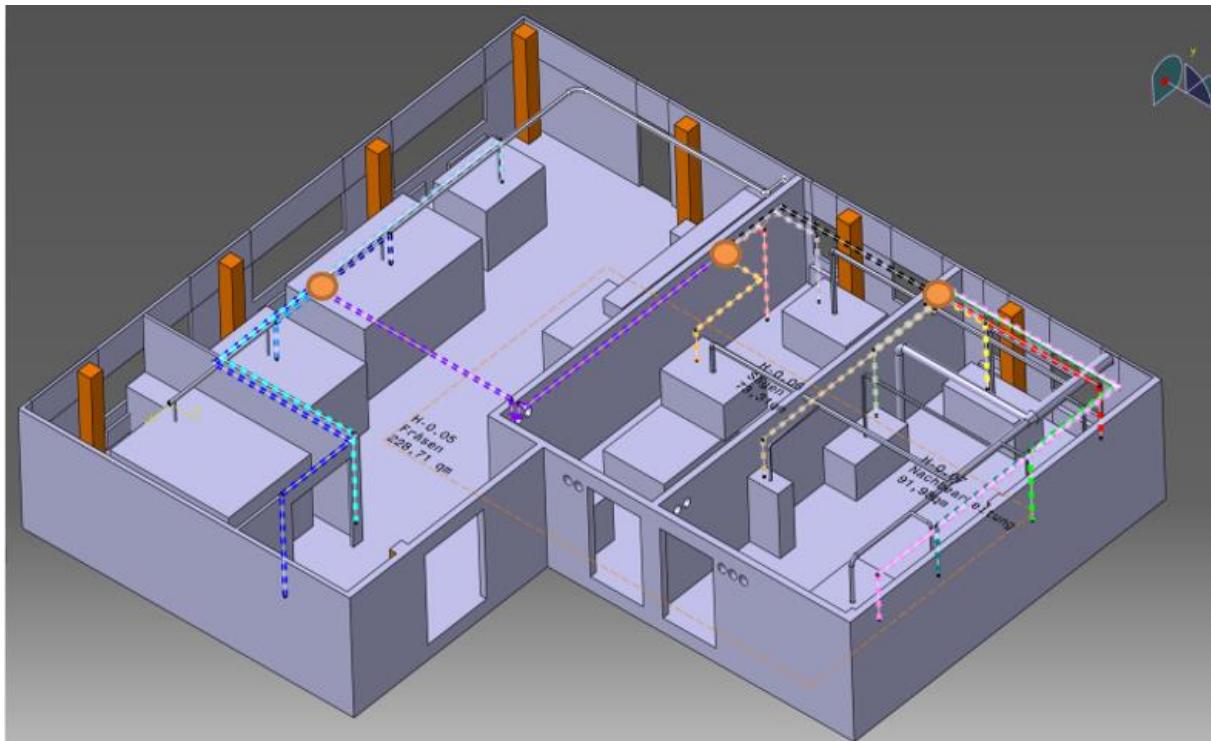


Abbildung 10: virtuelle Verlegung der Netzwerkkabel



Abbildung 11: physische Verlegung der Netzwerkkabel

6.5 AP5.1 Aufstellung der Daten- und Anforderungsanalyse

Die Aufstellung der Daten- und Anforderungsanalyse wurde aus den Arbeitspaketen AP3.1, AP3.2 und AP3.3 abgeleitet. Die Konzeptionierung der Multisensorknoten und deren Position erfolgte in enger Abstimmung mit den Projektpartnern, um die Anforderungen an den einzelnen lokalen Sensorknoten und des globalen Monitoringsystems zu evaluieren.

6.6 AP3.5 Ermöglichen eines Teleservices /AP5.2 Prototypische Implementierung des Systems

Die prototypische Implementierung des Systems wurde in den ausgewählten Fertigungsbereichen durchgeführt und durch einen Teleservice ergänzt.

Die von der TU Braunschweig bereitgestellten Sensorknoten wurden auf Basis der erarbeiteten Messstrategie aus Arbeitspaket 1.1 installiert und mit Hilfe der bereits verlegten Kabel in Betrieb genommen. Die Sensorknoten wurden in vier aneinander grenzenden Räumen in der Fertigung angebracht (siehe Abbildung 12 bis Abbildung 14).

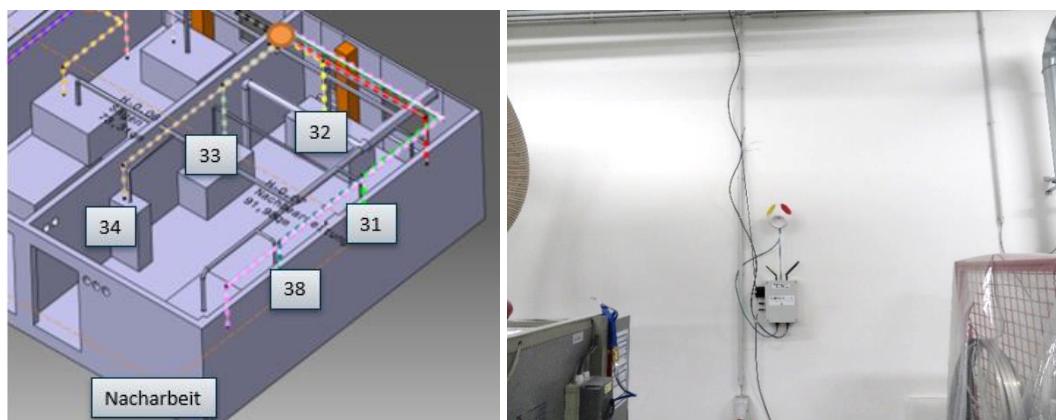


Abbildung 12: Sensorknotenverteilung in dem Fertigungsraum „Nacharbeit“ und beispielhafter Sensorknoten „38“



Abbildung 13: Sensorknotenverteilung in dem Fertigungsraum „Sägebereich“ und beispielhafter Sensorknoten „37“

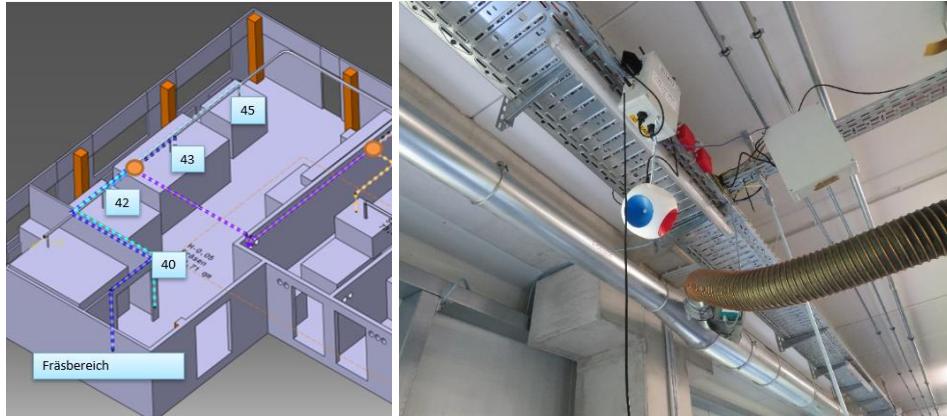


Abbildung 14: Sensorknotenverteilung in dem Fertigungsraum „Fräsbereich“ und beispielhafter Sensorknoten „42“

Der Fräsbereich verfügt über einen separaten Raum, in dem eine Flachbettfräse steht. Dieser zusätzliche Raum ist notwendig, da die Flachbettfräse im Gegensatz zu den anderen im Fräsbereich stehenden Fräsen nicht über eine geschlossene Arbeitskabine verfügt. Durch die fehlende Arbeitskabine können potenziell mehr Partikel durch die Luft gewirbelt werden. Um dies zu quantifizieren, wurden in diesem Raum zwei Sensorknoten verbaut. Angeschlossen wurden die beiden Sensorknoten an einen Switch, welcher sich an der zum Hauptfräsbereich angrenzenden Wand befindet. Die erfassten Messwerte werden dazu eingesetzt, um die neue Lüftungsanlage steuern (Abbildung 15) zu können.

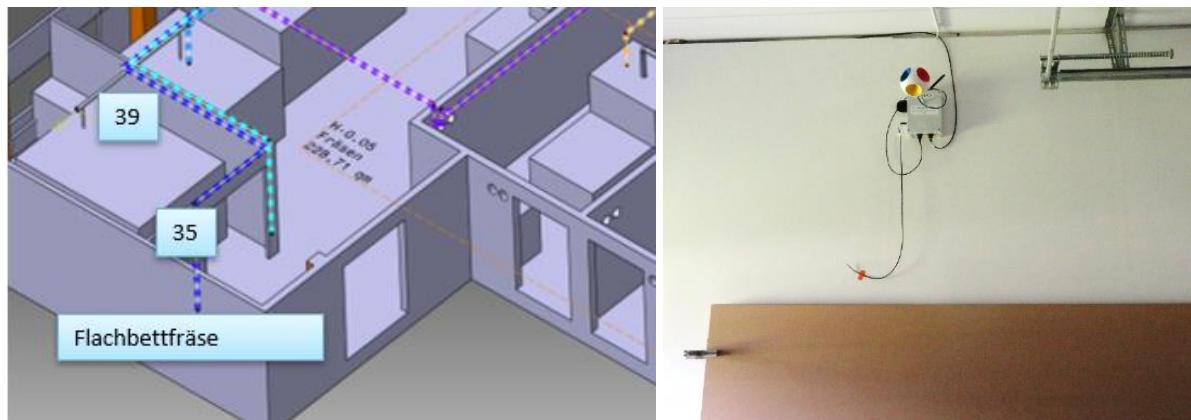


Abbildung 15: Sensorknotenverteilung in dem Fertigungsraum „Flachbettfräse“ und beispielhafter Sensorknoten „39“

In den drei größten Räumen wurden die Knoten jeweils mit einem Netzwerkswitch verbunden, der dann mit dem Switch des benachbarten Raumes verbunden wurde. Am zentralen Switch ist außerdem ein LTE-Modem für den Remotezugriff, sowie ein Raspberry Pi für das Sammeln, Verarbeiten und Weiterleiten der Sensordaten an das TU-Netzwerk angeschlossen. Nach der korrekten Konfiguration aller Switches und des Raspberry Pi, wurde die VPN-Verbindung des Raspberry Pi's mit dem TU-Netzwerk erfolgreich getestet. Im Anschluss wurde mit den Aufzeichnungen begonnen (siehe Abbildung 16).

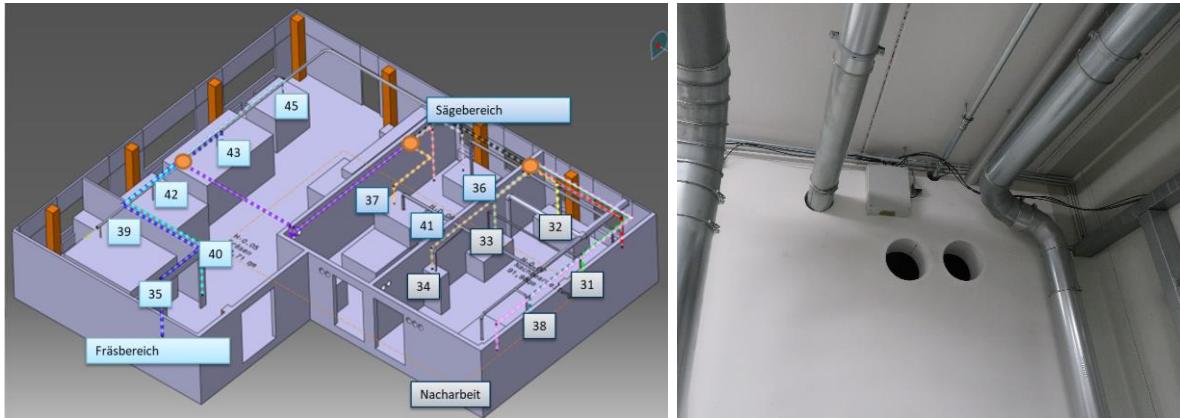


Abbildung 16: Übersicht der Sensorknotenverteilung mit den Netzwerk-Switches (orange Punkte) und beispielhafter Switch aus dem Sägebereich

Die softwareseitige Fusion der Lüftungsanlage mit der SPS-Steuerung des Steuerungsschalterschrankes und der Kommunikation zu den Servern der TU Braunschweig wurde erprobt. In mehreren Iterationsschritten wurde gemeinsam mit den Projektpartnern der Online IAT GmbH und der TLK-Thermo GmbH ein funktionierendes Gesamtsystem erarbeitet. Entscheidend dabei ist, dass die einzelnen Teilsysteme stetig ihre jeweiligen Zustände austauschen, damit der Automatikbetrieb zuverlässig ablaufen kann. Der Automatikbetrieb ist bereits in den laufenden Prozessen implementiert. Alle beteiligten Mitarbeitenden der Zerspanungsabteilung wurden in den Umgang mit der Lüftungsanlage unterweisen, sodass im Falle einer Störung sofort Maßnahmen ergriffen werden können. Somit wird ein längerer Stillstand der Flachbettfräse vermieden. Des Weiteren hat die TU Braunschweig die Entwicklung der Visualisierungsplattform so weit abgeschlossen, dass mit Hilfe dieser die Feinstaubbelastung in allen, mit Sensorknoten ausgestatteten, Fertigungsbereichen überwacht werden kann. Weitere Messwerte, wie die Raumtemperatur oder die Luftfeuchtigkeit, werden ebenfalls auf der Visualisierungsplattform dargestellt. In Abbildung 17 ist das Dashboard der Visualisierungsplattform dargestellt.

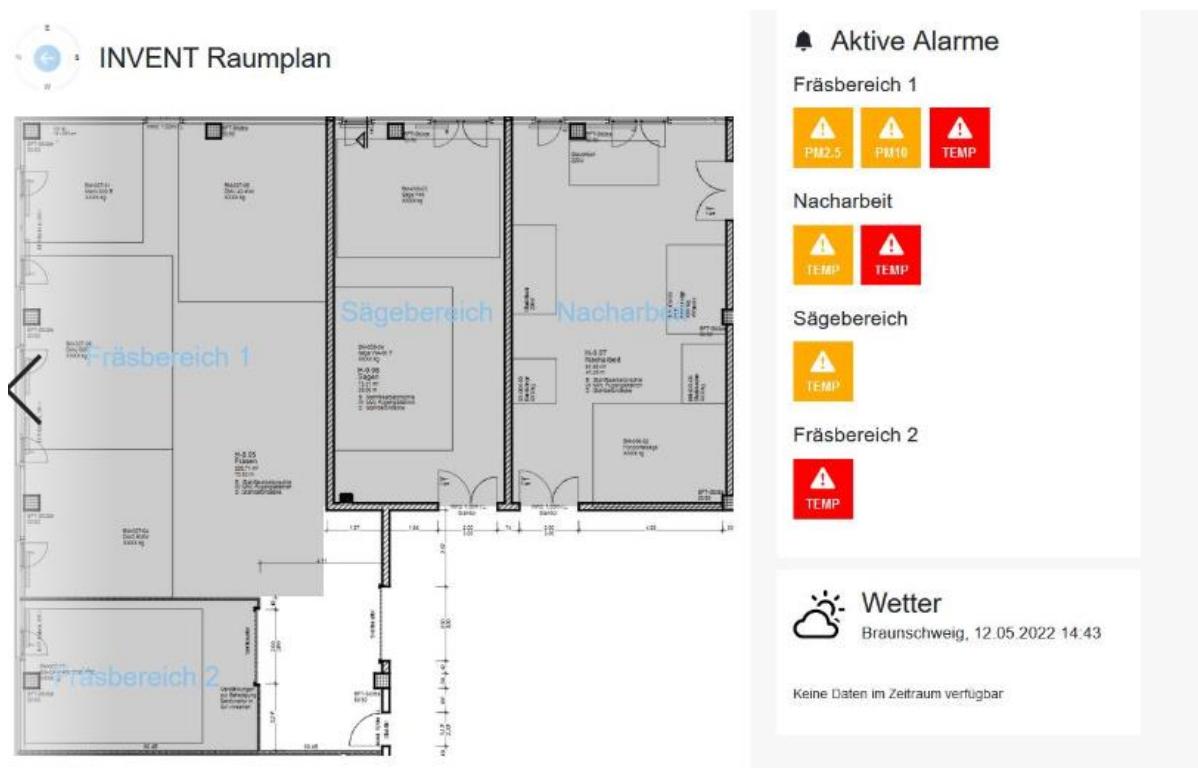


Abbildung 17: Dashboard der Visualisierungsplattform

Durch Anklicken eines der grau hinterlegten Räume gelangt man zur Detailansicht mit den einzelnen Messwerten für den entsprechenden Fertigungsbereich. Abbildung 18 zeigt die verfügbaren Messwerte für den Fräsbereich 1.

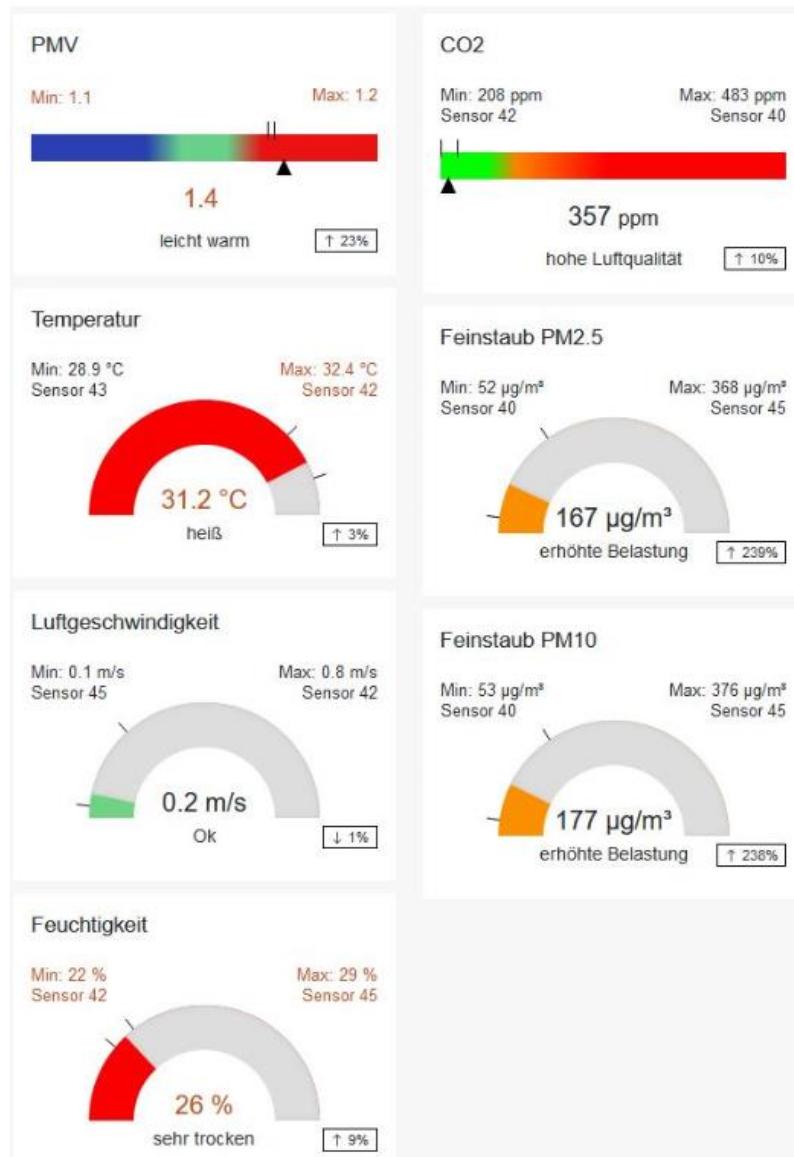


Abbildung 18: Messwerte für den Fräsbereich 1

Der Vacomat, der mit Hilfe des Sensorknotens in Abhängigkeit der gemessenen Partikelbelastung gesteuert und die Luft bei der Flachbettfräse reinigen soll, wurde aus Platzgründen außerhalb des Raumes platziert (siehe Abbildung 19).

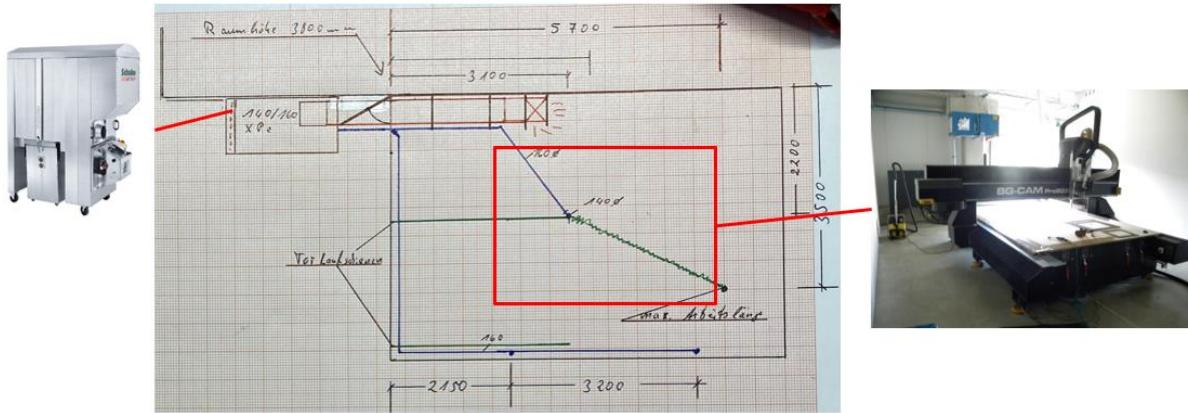


Abbildung 19: neues Anlagen- und Rohrverlegungskonzept

Aufgrund des geringen, verfügbaren Bauraums musste die Lüftungsanlage vor dem Frästraum installiert werden. Bevor das Absaugungsrohr und der Frischluftkanal in den Raum geführt werden konnten, wurden Durchbrüche in den Frästraum geschaffen. Auf der Abbildung 20 ist die installierte Anlage mit den benannten Durchbrüchen zu sehen.



Abbildung 20: Vacomat außerhalb des Frästraums

Der Frischluftkanal ist im Frästraum so installiert worden, dass die einströmende Frischluft nicht direkt in den Arbeitsbereich des Mitarbeitenden strömt, sondern vor diesem entlanggeführt wird. Direkte Zugluft ist unter ergonomischen Gesichtspunkten zu vermeiden, da diese zu Verkühlung der Muskulatur bei den Mitarbeitenden führen kann und damit mitunter zu Verspannungen oder Schmerzen.

Für die Absaugung der Partikel wurden zwei Absaugungspunkte definiert. Der erste Absaugungspunkt befindet sich direkt am Spindelkopf, was eine lokale Abführung der Partikel

während des Fräsvorganges ermöglicht. Der zweite Punkt liegt an einem Trichter, welcher gegenüber des Frischluftkanals installiert worden ist. So entsteht ein optimaler Luftstrom zwischen Frischluftzufuhr und Abführung der partikelbelasteten Raumluft.

Die Lüftungsanlage kann in zwei verschiedenen Modi betrieben werden. Zum einen im Automatikbetrieb und zum anderen im manuellen Betrieb. Die Auslegung der beiden Modi wurde eng mit den Projektpartnern und den entsprechenden Fertigungsmitarbeitenden abgestimmt. Im manuellen Betrieb kann der Mitarbeitende die Lüftungsanlage über das sich im Fräsvorstand befindende Bedienfeld händisch ein- und ausschalten. Weiterhin kann der Mitarbeitende bestimmen, an welchem der beiden Absaugungspunkte abgesaugt werden soll. In der Regel wird während des laufenden Fräsvorganges lokal am Spindelkopf abgesaugt und nach Beendigung der Arbeit auf die Raumluftabsaugung umgeschaltet. In seltenen Fällen kommt es allerdings vor, dass nicht direkt am Spindelkopf abgesaugt werden darf, da gefräste Kleinteile von der Lüftungsanlage eingesaugt werden könnten. In diesen Fällen wird die verunreinigte Luft durchgehend über den zweiten Absaugungspunkt abgeführt. Die Schaltung der Absaugungspunkte erfolgt über zwei Energiesparschieber, die sich jeweils über das Bedienfeld öffnen und schließen lassen und somit das entsprechende Absaugungsrohr für die Lüftungsanlage freigeben. Das Bedienfeld und die Energiesparschieber sind in Abbildung 21 zu dargestellt.

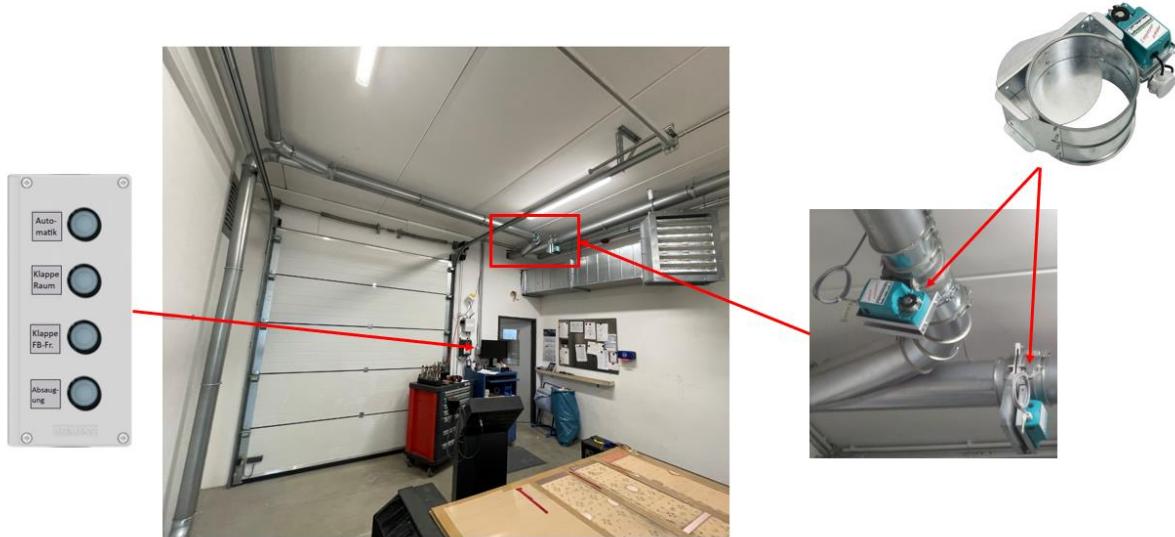


Abbildung 21: Position des Bedienfeldes und der Sparschieber

Für den Automatikbetrieb wurde der Schaltschrank der Lüftungsanlage um Hilfsschalter sowie zusätzliche Kontakte für die Betriebsüberwachung erweitert. Zudem wurde ein Strommessrelais am Spindelkopfantrieb der Fräse installiert, welches den Zustand der Spindel detektiert. Damit im weiteren Verlauf alle Komponenten mit einander agieren können, hat der

Projektpartner Online IAT GmbH einen Schaltschrank mit einer entsprechenden SPS-Steuerung in mehreren Iterationsschritten gemeinsam mit uns erarbeitet. Der Schaltschrank sorgt für eine Anbindung der Bedieneinheit, Ansteuerung der Energiesparschieber, Ansteuerung der und Signalaustausch mit der Absaugung sowie der Kommunikation mit dem Simulationsserver der TU Braunschweig. Abbildung 22 zeigt die einzelnen Signalwege zwischen den jeweiligen Komponenten.

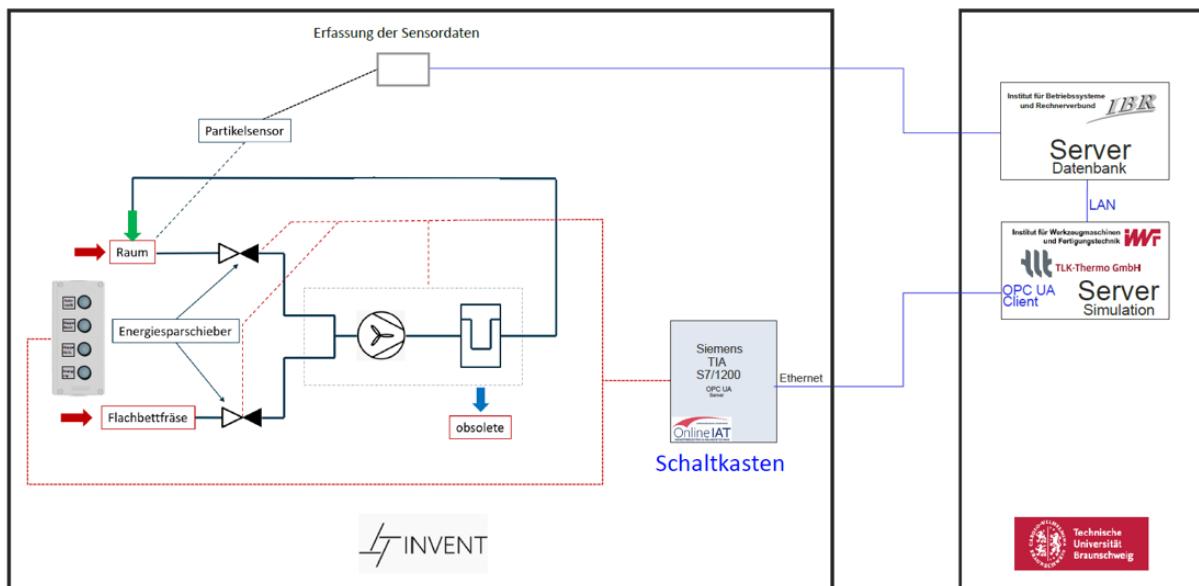


Abbildung 22: Signalwege

In der Grundstellung des aktiven Automatikbetriebes (Meldeleuchte „Automatik“ auf der Bedieneinheit leuchtet durchgehend) ist die Lüftungsanlage ausgeschaltet, der Energiesparschieber „Raum“ geschlossen und der Energiesparschieber „Flachbettfräse“ geöffnet. Die Lüftungsanlage kann sich durch zwei unterschiedliche Szenarien automatisch einschalten. Im ersten Szenario schaltet sich die Lüftungsanlage ein sobald sich die Spindel beginnt zu rotieren. Das Einschalten des Spindelantriebes wird mittels des Strommessrelais detektiert, welches dann ein Signal an den Steuerungsschaltkasten übergibt. Dadurch, dass in der Grundstellung der Energiesparschieber „Flachbettfräse“ geöffnet ist, wird beim Einschalten der Lüftungsanlage nach einer kurzen Anlaufzeit, lokal am Spindelkopf abgesaugt. Wird der Spindelantrieb gestoppt und ist die Partikelbelastung im Frästraum zu hoch, wechseln die beiden Energiesparschieber ihre Stellung. Das bedeutet, dass sich der Energiesparschieber „Flachbettfräse“ schließt und sich der Energiesparschieber „Raum“ öffnet. Somit wird die partikelbelastete Raumluft über den zweiten Absaugungspunkt, also den Trichter, angesaugt. Dies geschieht so lange, bis der Grenzwert unterschritten ist. Nach Unterschreiten des Wertes

 INVENT	Schlussbericht INVENT GmbH 3DEMO – FKZ 03ET1660H	Datum: 03.04.2023 Erstellt durch: LIHA Ausgabe: A
---	---	---

schaltet sich die Anlage ab und die Schieber wechseln zurück in ihre Grundstellung. Im zweiten Szenario wird die Anlage dadurch eingeschaltet, das der Grenzwert für die Partikelbelastung im Frästraum überschritten wird. Der Spindelkopf ist nicht aktiv. Dieses Szenario kann beispielsweise eintreten, wenn ein Mitarbeitender ein Bauteil, welches sich auf der Flachbettfräse befindet, mittels Druckluft reinigt. Hierbei können Partikel aufgewirbelt werden. Die Schieber wechseln beim Starten der Anlage ihre Stellung. Ist der Raum bereinigt (Grenzwert wird unterschritten), schaltet sich die Anlage wieder ab und die Schieber gehen zurück in ihre Grundstellung. Die verbauten Sensorknoten messen die Partikelbelastung im Raum kontinuierlich und unabhängig vom aktuellen Modus. Anschließend werden die gemessenen Werte direkt an die Server der TU Braunschweig gesendet und verarbeitet. Bei Über- oder Unterschreiten der vorgegebenen Konzentrationswerte wird jeweils ein entsprechendes Signal an den Steuerungsschalschrank ausgegeben. Nachdem alle Montagearbeiten abgeschlossen waren, konnte die softwareseitige Fusion der Lüftungsanlage mit der SPS-Steuerung des Steuerungsschalschrank und der Kommunikation mit den Servern der TU Braunschweig erprobt werden.

6.7 AP5.4 Implementierung ausgewählter Dienstleistungsangebote

Bei der Implementierung ausgewählter Dienstleistungsangebote hat die INVENT GmbH mit der Teilnahme an diversen Umfragen unterstützt. Teilnehmer waren vor allem Betreiber und Bediener der RLT-Anlagen im Fertigungsbereich.

 INVENT	Schlussbericht INVENT GmbH 3DEMO – FKZ 03ET1660H	Datum: 03.04.2023 Erstellt durch: LIHA Ausgabe: A
--	---	---

7 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Den größten Umfang haben die Personalkosten eingenommen. Material und Fremleistungen haben in diesem Vorhaben einen sehr geringen Anteil ausgemacht.

8 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Aufgrund des neuartigen Ansatzes eine kabellose Kommunikation von Sensorknoten in Produktionshallen zu realisieren, das Eingreifen in Echtzeit-Einsatz in die Regelung von Lüftungsanlagen und das ganze visuell auf einer Plattform darstellen zu können bedurfte es eines erheblichen finanziellen Aufwandes für die vorwettbewerbliche Entwicklung.

Die allein auf Eigenmittel gestützte In-House Entwicklung war dadurch für ein Unternehmen mit der Größe der INVENT GmbH nicht möglich, so dass das Entwicklungsvorhaben einer zusätzlichen Förderung bedurfte. Durch das Projekt wurde ein erheblicher Technologievorsprung erarbeitet. Zusätzlich wurde damit die anwendungsbezogene industrielle Grundlage geschaffen. Die erreichten Projektergebnisse leisten aufgrund innovativen Charakters einen erheblichen Beitrag zum technisch-wissenschaftlichen Fortschritt. Zu deren Erreichung wurde das veranschlagte Kostenbudget vollständig benötigt.

 INVENT	Schlussbericht INVENT GmbH 3DEMO – FKZ 03ET1660H	Datum: 03.04.2023 Erstellt durch: LIHA Ausgabe: A
---	---	---

9 Nutzen für das Unternehmen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses

Die INVENT GmbH profitiert durch den Aufbau des prototypischen Systems und der dadurch sichtbar gemachten Effizienzpotentiale.

Kurzfristiges Verwertungsziel der INVENT GmbH ist die Weiterführung der im Projekt begonnenen Arbeit nach dessen Abschluss im Rahmen des Einsatzes und Betriebs des Emissionmonitoringsystems. Dadurch können weitere Erkenntnisse aus dem Betrieb zu Zuverlässigkeit, Funktionalität und Energieersparnis gewonnen werden, die dann die Basis für die weiteren Schritte legen. Mittelfristig soll sich das System nach Projektende vollständig etablieren und auch auf weitere Unternehmensbereiche erweitert werden. Somit können weitere Einsparpotentiale im Energieverbrauch nutzbar gemacht werden. Zudem soll die Möglichkeit der automatischen Dokumentation von Klima- und Partikelmessungen noch stärker ausgenutzt werden. Auch dadurch wird ein sicherer und effizienterer Betrieb des Unternehmens erwartet.

Die Einführung von digital unterstützen industriellen Fertigungsumgebungen in der Luft- und Raumfahrt ist ein zunehmen angestrebter Arbeitsschwerpunkt der INVENT GmbH. Hier ist zukünftig mit einem verstärkten Einsatz von Sensoriken und digitalen Infrastrukturen zur Steigerung der Produktionseffizienz und zur Sicherung des Betriebs der Produktion sowie zur Ressourcenschonung zu rechnen. Zudem ist zu erwarten, dass im Bereich der Luft- und Raumfahrt der Kostendruck auf die Produzenten von Faserverbundbauteilen immer mehr zunehmen wird. Da im vorliegenden Vorhaben zusammen mit den Verbundpartnern neuartige sensorische und zum Teil simulationsgestützte Regelsysteme zur Effizienzsteigerung, Produktionssicherung und Ressourcenschonung erarbeitet und getestet werden, können sich hier industrielle Einsatzszenarien ergeben.

Die Erwartungen vom Vorfeld des Projektes wurden erfüllt.

10 Darstellung des während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Mit Fokus auf günstige kabellose Sensornetzwerke zur Regelung einer Lüftungsanlage sind keine weiteren Fortschritte bei anderen Stellen bekannt geworden.

 INVENT	Schlussbericht INVENT GmbH 3DEMO – FKZ 03ET1660H	Datum: 03.04.2023 Erstellt durch: LIHA Ausgabe: A
--	---	---

11 Erfolge oder geplante Veröffentlichung des Ergebnisses

Das Projekt 3DEMO wurde seitens INVENT auf keiner Veranstaltung präsentiert oder Ergebnisse veröffentlicht.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN Nicht verfügbar	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Schlussbericht Verbundprojektes „3DEMO - Sichere und energieeffiziente Fabriken durch 3D Emission Monitoring“ – öffentliche Fassung	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Linne, Hannah Sonnemann, Tjark	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.09.2022
	6. Veröffentlichungsdatum 28.03.2023
	7. Form der Publikation Sonstiges
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) INVENT Innovative Verbundwerkstoffe Realisation und Vermarktung neuer Technologien GmbH	9. Ber.-Nr. Durchführende Institution 300400-TB-01
	10. Förderkennzeichen 03ET1660H
	11. Seitenzahl 25
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) BMWK	13. Literaturangaben keine
	14. Tabellen 0
	15. Abbildungen 22
16. DOI (Digital Object Identifier) Keine zusätzlichen Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Technische Informationsbibliothek Hannover (TIB)	
18. Kurzfassung Der vorliegende Schlussbericht fasst die wesentlichen Ergebnisse der INVENT GmbH, die im Vorhaben „3DEMO - Sichere und energieeffiziente Fabriken durch 3D Emission Monitoring“ erarbeitet wurden. Der Projektzeitraum begann am 1. April 2019 und endete am 30. September 2022. Die INVENT GmbH hatte folgende Aufgaben und Funktionen für das Emissionsmonitoring in der Komponentenfertigung für die Luft- und Raumfahrttechnik: <ul style="list-style-type: none"> • Bestandsaufnahme der TGA durch Bereitstellung eines dreidimensionalen Modells der betroffenen Räumlichkeiten • Aufstellen einer Daten- und Anforderungsanalyse für die CFK- und GFK-Bearbeitung für eine geeignete Messstrategie • Ermöglichen eines Teleservices und der prototypischen Implementierung des Systems in den betroffenen Räumlichkeiten 	
19. Schlagwörter 3D Emission Monitoring; energieeffiziente Fabriken; technischen Gebäudeausrüstung; Partikelkonzentrationen	
20. Verlag nicht verfügbar	21. Preis nicht verfügbar

Nicht änderbare Endfassung mit der Kennung 1959691-4

Document control sheet

1. ISBN or ISSN Not available	2. type of document (e.g. report, publication) Veröffentlichung (Publikation)
3. title Final report of the joint project "3DEMO - Sichere und energieeffiziente Fabriken durch 3D Emission Monitoring" - public version	
4. author(s) (family name, first name(s)) Linne, Hannah Sonnemann Tjark	5. end of project 30.09.2022
	6. publication date 28.03.2023
	7. form of publication Dissertation
8. performing organization(s) name, address INVENT Innovative Verbundwerkstoffe Realisation und Vermarktung neuer Technologien GmbH	9. originators report no. 300400-TB-01
	10. reference no. 03ET1660H
	11. no. of pages 25
12. sponsoring agency (name, address) BMWK	13. no. of references 0
	14. no. of tables 0
	15. no. of figures 22
16. DOI (Digital Object Identifier) No supplementary notes	
17. presented at (title, place, date) Technische Informationsbibliothek Hannover (TIB)	
18. abstract This final report summarizes the main results of INVENT GmbH, which were developed in the project "3DEMO - Sichere und energieeffiziente Fabriken durch 3D Emission Monitoring". The project period began on 1 April 2019 and ended on 30 September 2022. INVENT GmbH had the following tasks and functions for the emission monitoring in the component manufacturing for aviation and aerospace technology: - Inventory of the TGA by providing a three-dimensional model of the affected premises. - Establishing a data and requirements analysis for CFRP and GFRP processing for a suitable measurement strategy - Enabling a teleservice and prototypical implementation of the system in the affected premises	
19. keywords 3D emission monitoring; energy-efficient factories; technical building equipment; particle concentrations	
20. publisher Not available	21. price Not available

Nicht änderbare Endfassung mit der Kennung 1959717-3