

SECTION 8. INNOVATIVE TECHNOLOGIES

8.1 Synthese eines digitalen echtzeit-steuerungssystems für pneumatische antriebe

Das Konzept des digitalen Duplikats wurde in 2002 von Michael Greaves, Professor an der University of Michigan, vorgeschlagen. In seiner Arbeit [345, S.2] hieß es ursprünglich "Modell der Spiegelräume". Es gibt auch eine Definition eines digitalen Klon von den Autoren [345, S.3]. Die Autoren beschreiben den digitalen Klon als eine Menge virtueller Informationsstrukturen, die das eigentliche Industrieprodukt vollständig duplizieren, mit der Möglichkeit der Modellierung von atomaren Funktionen bis hin zur Geometrie. Unter idealen Bedingungen können alle Informationen, die dem Produkt entnommen werden können, von seinem digitalen Pendant bezogen werden. Das digitale Duplikat "beinhaltet drei Hauptteile: das physische Produkt im realen Raum; virtuelles Produkt im Cyberspace; Daten und Informationen, die virtuelles und physisches Produkt kombinieren. [347, S.4]. Heute ist die Methode der Entwicklung eines digitalen Duplikats [348, S.5] weit verbreitet als Computerprototyp für jedes reale Objekt. So kann ein solches Objekt beispielsweise der gesamte Industriebetrieb mit seinen Produktionslinien, eine spezifische Kopie des Produkts oder ein separater technologischer Prozess sein [349, S.7]. Je genauer das digitale Duplikat in der Computerumgebung beschrieben wird, desto mehr entspricht es seinem realen Vorbild. Aufgrund der Besonderheiten der menschlichen Wahrnehmung, näher an der Realisierung, ist es die Synthese digitaler Duplikate. Während der Synthese können Sie eine visuelle Darstellung des Prototypobjekts erhalten und dann zu den physikalischen Eigenschaften übergehen. Beispielsweise die Reaktion auf äußere Einflüsse, Betriebsbedingungen, natürliche Alterungsprozesse etc. Gemäß dem Algorithmus zum Aufbau eines digitalen Überwachungssystems [350, p.6], um die experimentellen Eigenschaften im Duplikat zu kombinieren, ist es ratsam zu verwenden:

- Lösungen für die Erstellung eines grafischen digitalen 3D-Modells des Objekts, entwickelt unter Verwendung von CAD-Systemen für technisches Design;

- Lösungen zur Sicherstellung echter Daten aus dem Prototyp auf Basis der Internet of Things (IoT)-Technologie;
- integrierte mathematische Modelle – Werkzeuge, die das „Verhalten“ des digitalen Duplikats in Übereinstimmung mit dem Verhalten seines Prototyps liefern (dazu gehören CAE-Systeme für technische Berechnungen);
- verschiedene Visualisierungstechnologien.

Das digitale Pendant ist demnach eine Symbiose von Technologien, die wir als reales prototypisches Objekt wahrnehmen, also ein System digitaler Überwachung in Echtzeit [351, S.7]. Neben der technischen Modernisierung der Elemente mit Hilfe des digitalen Duplikats rückt die Entwicklung grundlegend neuer Steuerungssysteme mit drahtloser Rückmeldung in den Vordergrund. Diese Forschungsrichtung ist für die Synthese des Systems der digitalen Überwachung des pneumatischen Aktuators in Echtzeit zweckdienlich.

Daher besteht die dringende Aufgabe der Forschung darin, ein System zur kontinuierlichen Überwachung der wichtigsten Leistungsmerkmale einer Industrieanlage zu entwickeln, nämlich eines pneumatischen Stellantriebs. Die erwarteten Ergebnisse werden es nicht nur ermöglichen, das Verhalten des Objekts in Echtzeit zu steuern, sondern auch Wege zur Verbesserung seiner technologischen Effizienz zu finden. Während der Forschung wurden Methoden der mathematischen Physik, Thermodynamik, numerische Methoden der linearen, nichtlinearen Programmierung, Lösungen von Differentialgleichungen, Methoden der theoretischen Mechanik, Methoden der Verarbeitung der Ergebnisse experimenteller Daten, Methoden der mathematischen Modellierung verwendet. Die Forschungsmaterialien wählten einen Nachladebereich für die Verarbeitung von künstlichen Produkten aus, der aus pneumatischen Stellantrieben mit 4 Positionen besteht. Zum Bau des Modells diente die 3D CAD Models Community – PARTcommunity – eine Plattform für industrielles „Internet of Things“, die von führenden Ingenieurbüros unter Berücksichtigung der Besonderheiten von Produktion und Prozessen entwickelt wurde.

Der digitale Klon wird von uns als Vermittler verwendet. Um das System der digitalen Überwachung des pneumatischen Aktuators in Echtzeit zu synthetisieren,

kombinieren wir im System: Pneumatikzylinder; eine Plattform, die vollständiges Feedback für das Laufwerk liefert; Wi-Fi-Fernbedienungseinheit basierend auf Datenübertragung von der physischen in die virtuelle Welt. Die Entwicklung des digitalen Duplikats basierte auf der Methode der Symbiose von Technologien [352, S.7], die als Prototyp ein reales Objekt bildet. In Abb. 1. Es wird der Synthesalgorithmus des Systems zur digitalen Überwachung des pneumatischen Aktuators in Echtzeit vorgestellt.

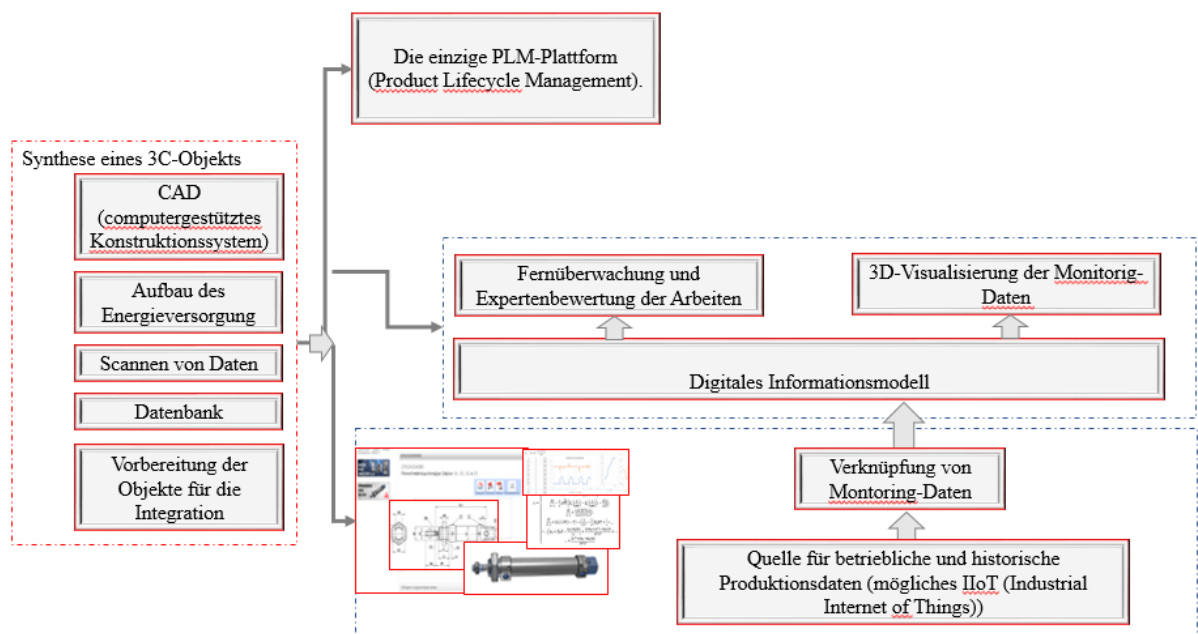


Abbildung 1: Flussdiagramm zur Synthese des digitalen Zwillings

Ganz am Anfang der Lösung des Problems der Digitalisierung des PTM-Antriebs muss ermittelt werden, welche Variante der Synthese des digitalen Modells für die Aufgabe optimal ist.

Die erste Option ist ein vollständiges digitales Duplikat. Das heißt, ein Software-Analogon eines physischen Geräts, das die technischen Eigenschaften und das Verhalten eines realen Objekts simuliert, die Interferenz- und Umgebungsbedingungen berücksichtigt und interne Prozesse steuert. Ein wichtiges Merkmal ist, dass Sie mit dieser Option Informationen von den Sensoren des realen Geräts verwenden können. Die Steuerung funktioniert sowohl online als auch offline. Außerdem kann das System Informationen von virtuellen digitalen Klonsensoren mit Sensoren des realen Geräts vergleichen und Anomalien und deren Ursachen erkennen.

Die zweite Option, digitaler Schatten, ermöglicht es Ihnen, ein praktisches und nützliches Werkzeug zu erhalten, es in der Arbeit zu testen und es unter Berücksichtigung der festgestellten Mängel zu verfeinern. Das heißt, es handelt sich um eine digitale Darstellung eines physischen Objekts, die eine Automatisierung des unidirektionalen Datenflusses von einem vorhandenen physischen Objekt zu einem digitalen bereitstellt. Wenn sich der Zustand eines physischen Objekts ändert, ändert sich auch der Zustand des digitalen Objekts.

Bei der Entscheidung sollten Sie auf digitale Schatten achten - dies ist eine vereinfachte, an die heutigen Bedürfnisse angepasste Version des Duplikats, nämlich: begrenzt in Werkzeugen für die Modellierung im Cyberspace und konzentriert auf die korrekte Übersetzung von Daten vom physischen Prototyp in seinen virtuellen Prototyp [353, S.3]. Der digitale Klon des Versuchsmodells, nämlich der Nachladebereich zur Verarbeitung künstlicher Produkte aus pneumatischen Aktuatoren mit 4 Positionen, löst die folgenden Probleme:

- Visualisierung, einschließlich des Betriebsvorgangs der Arbeitsglieder (Stangen);
- die Möglichkeit Hardware online anzuzeigen (bereitgestellt über das TIA Portal, das neben der Basissoftware STEP 7, WinCC, SINAMICS StartDrive, SIMOCODE ES und SIMOTION SCOUT TIA auch neue Features wie Multiuser Engineering und Energieverbrauchskontrolle in einer Oberfläche integriert);
- Bildung von Mitteln zum Erhalten genauerer Parameter für den Aufbau einer detaillierten und gründlichen Analyse der Arbeit des Antriebs - tabellarische Berichte, Zeitpläne, Diagnosen usw.

Der Prozess zur Erstellung eines solchen digitalen Duplikats sollte so einfach wie möglich sein und Ressourcenkosten eliminieren. In der Industrie sieht man heute ein breites Spektrum an Lösungen [354, S.3]. Unserer Meinung nach stechen dabei zwei dialektische Gegensätze hervor: „Schwere Klasse“ - Lösungen, wie zB Siemens und PTC, gegenüber Lösungen der unteren Klasse - Kostensegment für Excel-Überwachung . Es sollte beachtet werden, dass es nur sehr wenige vollwertige Tools gibt, einschließlich inländischer, die alle oben genannten Kriterien für die Erstellung

digitalen Klon erfüllen würden. Die Entwicklungsstadien des digitalen Duplikats (Modell) für das untersuchte Umladegebiet sind in Abb. 2 dargestellt.

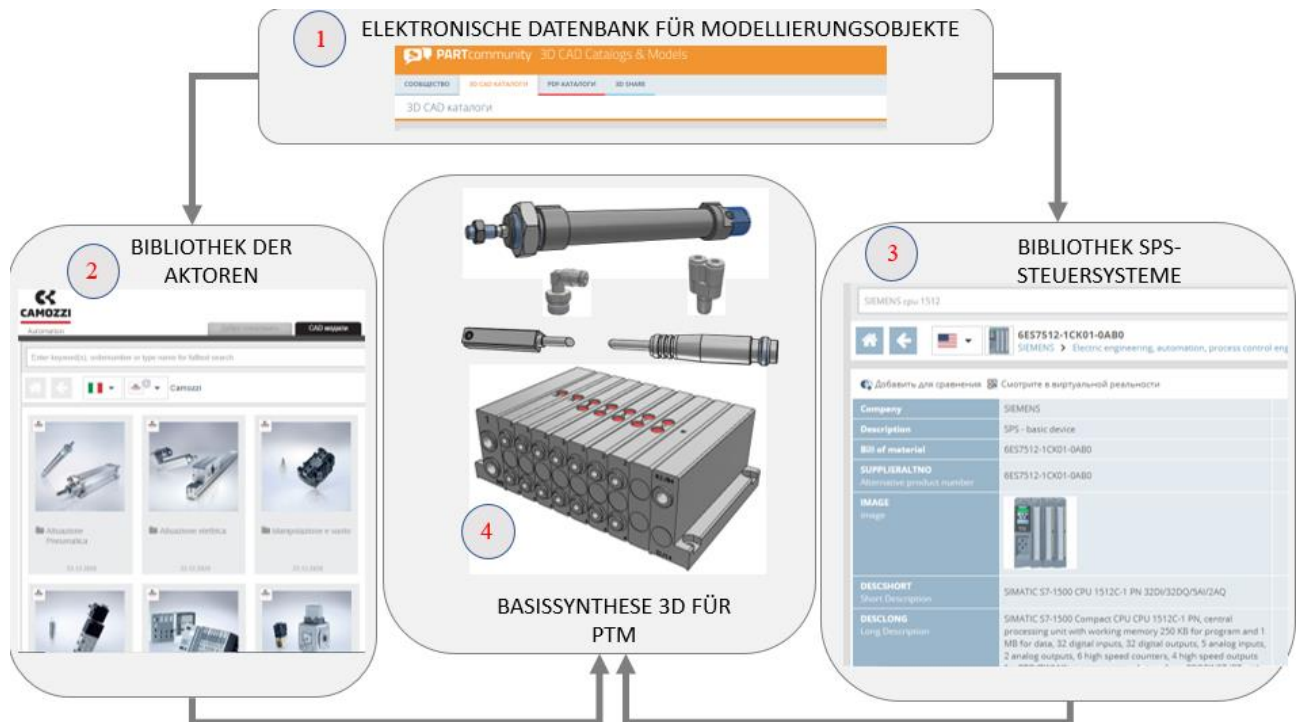


Abbildung 2: Schritte bei der Entwicklung des digitalen Zwillings

Die Forschungsaufgabe basiert auf der Entwicklung der optimalen Funktionalität am Beispiel der PTM-Nachladestrecke, die aus 4 pneumatischen Aktuatoren besteht (Bild 3). Zum Bau des Modells diente die 3D CAD Models Community – PARTcommunity – eine Plattform für industrielles „Internet of Things“, entwickelt von führenden Engineering-Unternehmen, unter Berücksichtigung der Besonderheiten von Produktion und Prozessen.

Das digitale Duplikat wurde als Vermittler synthetisiert zwischen: dem physischen Produkt (mit wichtigen Informationen darüber) und der Plattform (die vollständiges Feedback für das Laufwerk liefert). Das Laufwerk kann während des Betriebs über Wi-Fi ferngesteuert werden, basierend auf der Datenübertragung von der physischen in die virtuelle Welt.

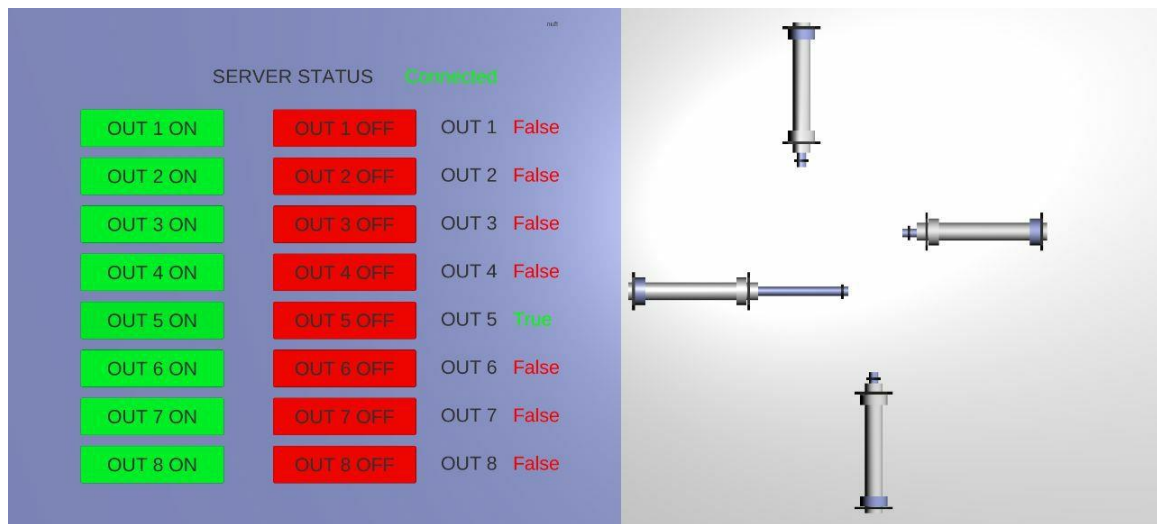


Abbildung 3: Ergebnisse der Synthese eines digitalen Zwillings in Form eines interaktiven Kontrollmodells

Das Simulationsmodell wurde von Unity entwickelt. Die Visualisierung erfolgt in Unity in C#, eine teilweise Auflistung des Programms ist in Abb. 4 dargestellt. Das synthetisierte System zur digitalen Überwachung des pneumatischen Aktuators hat die Software- und Hardwarearchitektur des digitalen Doppels. Das System besteht aus mehreren Ebenen. Die erste ist die Ebene des physischen Objekts (dh des physischen Duplikats), auf der die spezifizierten Eigenschaften mit einer Reihe von Sensoren registriert werden. Auf dieser Ebene findet eine Interaktion mit dem physischen Gegenüber durch Antriebe statt. Die zweite Ebene - lokale Controller, die die technologische Funktionalität des digitalen Klons bereitstellen. Die dritte Ebene ist die lokale Datenbank. Vierte Ebene – bietet das Zusammenspiel von lokalem und Cloud-Speicher für Daten. Ebene 5 ist der Cloud-Speicher. Das sechste ist das Modell der Emulation (Modellierung des aktuellen Verhaltens) und der Simulation (Modellierung des möglichen Verhaltens) für einen physikalischen Klon.

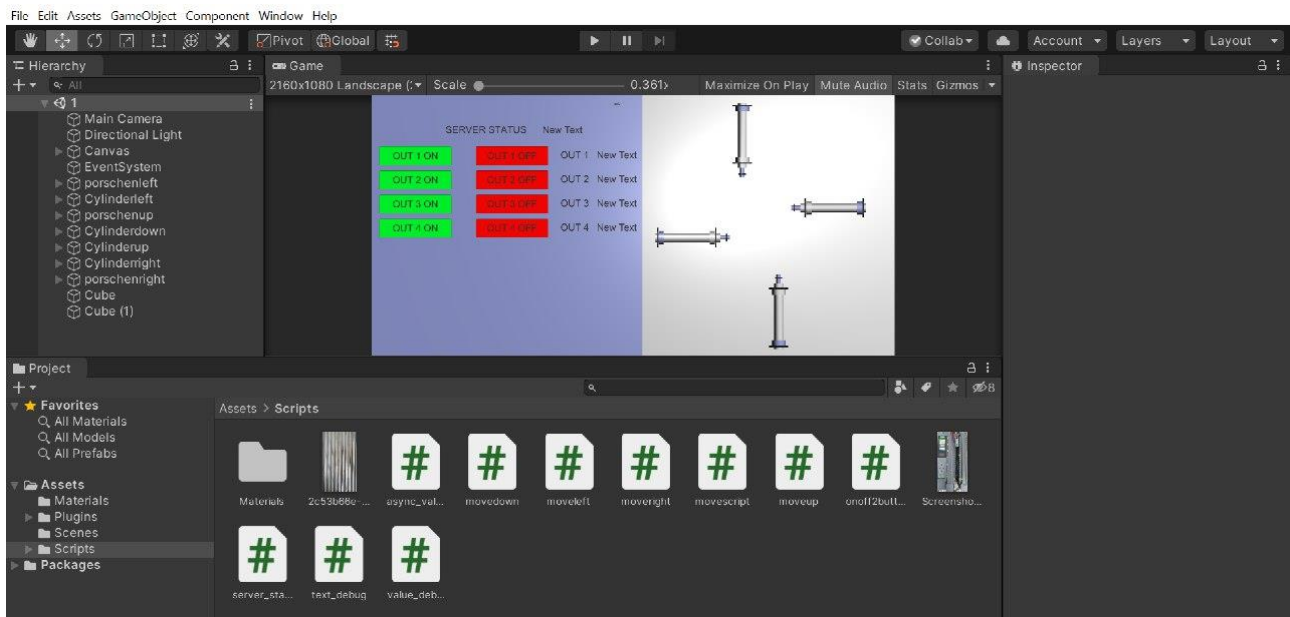


Abbildung 4: Gesamtansicht des Projekts für den Umladebereich im Unity-Arbeitsbereich

Der Server mit Daten zu den Aus- und Eingängen der Siemens-Steuerung erfolgt im TIA Portal. C++ - Client zum Lesen und Schreiben dieser Daten für Android-Geräte, die in Android Studio entwickelt wurden, Abb. 5.

Das Erstellen von visuellen Simulationsmodellen des digitalen Klons ist mit Hilfe einer spezialisierten Software von Simio [355, S.118] möglich. Zur Erstellung eines solchen visuellen Modells wird eine Standard-Objektbibliothek verwendet. Der Prozess der digitalen Duplikatsimulation aktiviert einen Editor, mit dem Sie Operationen zuweisen, Simulationen durchführen, Simulationsausführungszeiten aufzeichnen, sich mit anderen virtuellen Objekten vernetzen und vieles mehr. Etwa 50 Arten von Daten werden verwendet, um die Eigenschaften eines physischen Duplikats mit einem Programm zu beschreiben. Beispielsweise Datentypen zur Beschreibung von Elementen (Zustand, Material etc.), Objektbeschreibungsdatentypen (Ressource, Layout, Knoten usw.). Die Industrie ist jedoch eine Quelle anspruchsvoller Software.

Das Verhalten für digitalen Klon in DTDL hat fünf Metamodellklassen: Eigenschaft, Befehl, Beziehung, Komponente und Telemetrie. Ja, die Telemetry-Klasse generiert Daten, die von Sensoren generiert werden. Eigenschaft beschreibt den Zustand des digitalen Klons, Synchronisation mit anderen Komponenten für das verteilte System. Command entwickelt eine Funktion oder Operation, die von einem

digitalen Klon ausgeführt wird. Beziehung bildet die Verbindung eines digitalen Klons mit anderen digitalen Klonen (zwischen Schnittstellen). Komponente beschreibt einen Teil der Schnittstelle.

Die Microsoft Azure Digital Twins-Plattform bietet die fortschrittlichsten Möglichkeiten zum Erstellen digitaler Klone. Die DTDL-Sprache wird verwendet, um digitale Duplikatmodelle zu beschreiben, die auf der Verwendung des JSON-Formats basiert, nämlich des JSON-LD-Formats. [355, S.14].

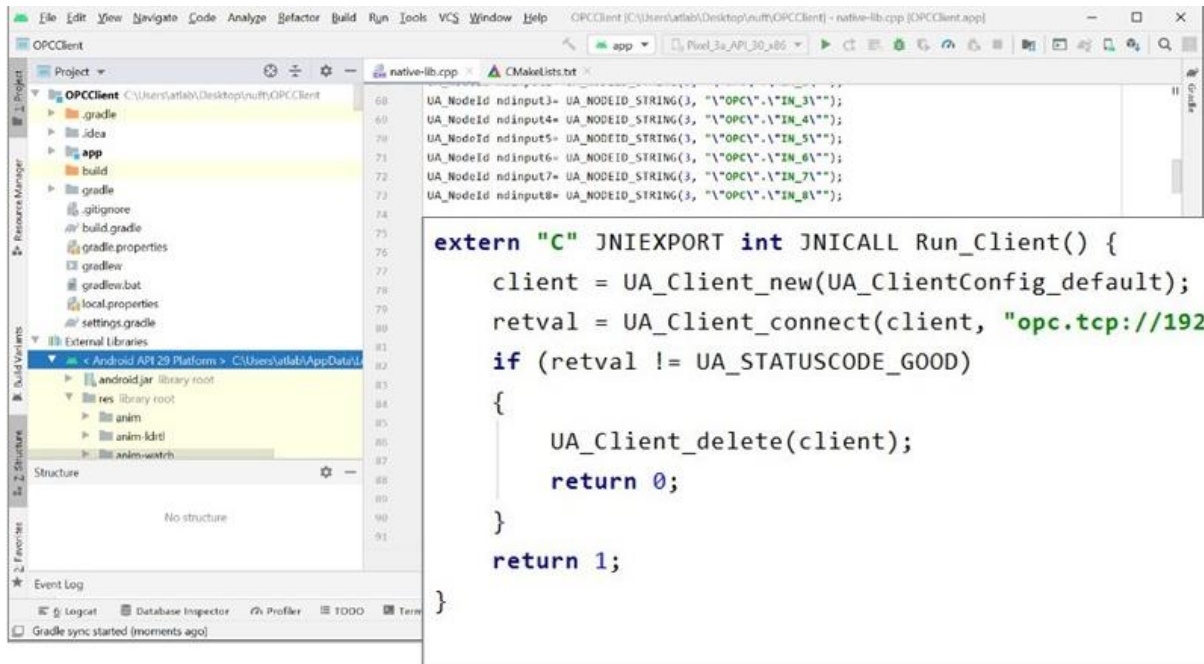


Abbildung 5: Überblick über den Android Studio-Arbeitsbereich innerhalb des Digital Monitoring-Projekts

Entwicklung einer Funktion zum Erstellen eines Clients und Herstellen einer Verbindung zum Server. Die Kommunikation erfolgt mit dem neuen TCP-IP-Datenaustauschprotokoll – OPC UA.

Ein digitaler Klon ist nur dann wertvoll, wenn es den tatsächlichen Zustand der Ausrüstung genau widerspiegelt. Der nächste Schritt sind daher die Ergebnisse experimenteller Untersuchungen des physikalischen Modells für den untersuchten Überlastungsbereich. Die allgemeine Struktur der Informationsverarbeitung von einem realen Objekt zu einem digitalen Klon unter Verwendung einer Cloud-Datenbank ist in Abb. 6 dargestellt. Die Kontinuität der Datenübertragung bietet zusätzliche Möglichkeiten für die Wartung und ermöglicht es Ihnen, das vollständige Bild der

Produktion zu sehen. Das Arbeiten mit einem digitalen Klon erfordert kein Anhalten der Anlage: Sie können jederzeit und an jedem Ort „in die Produktion schauen“. Dabei kann der digitale Klon nicht nur ein 3D-Objekt mit technischen Eigenschaften kombinieren, sondern auch Informationen über Umgebung und Betriebsbedingungen, die Interaktion mit anderen Objekten sowie Daten aus Predictive Analytics. Die aus den Geräten gewonnenen Informationen können beispielsweise zur Beurteilung von Engpässen, technischem Zustand, Betriebsablauf usw. verwendet werden.

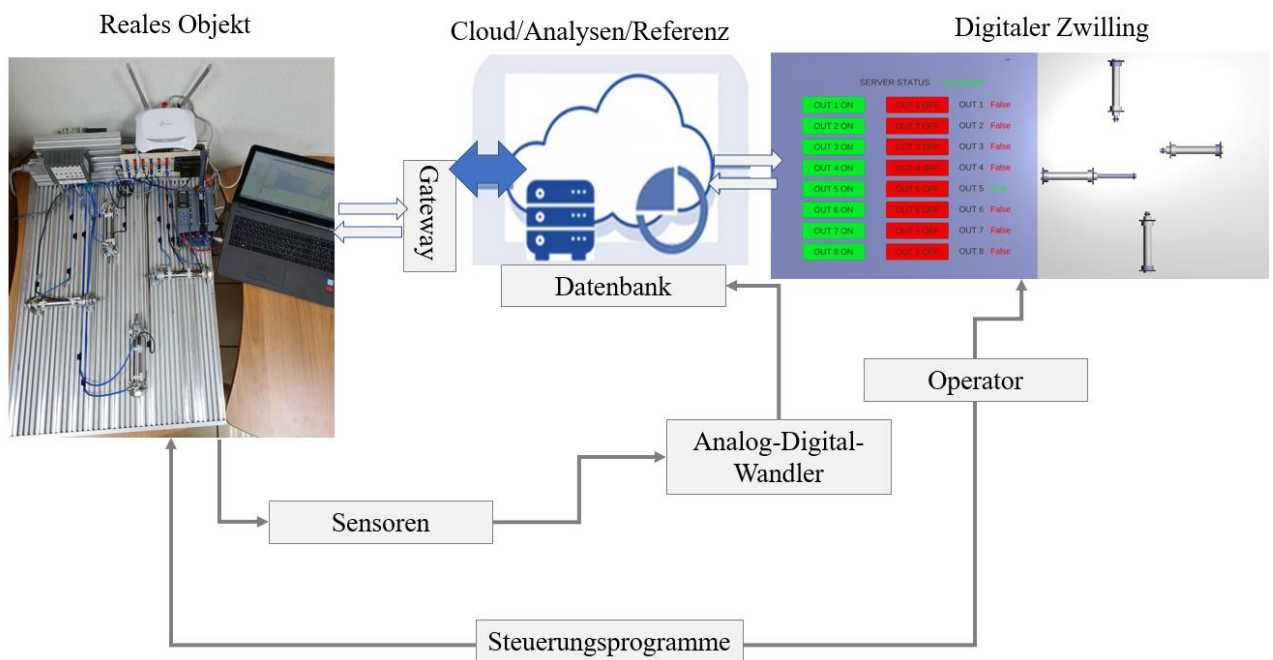


Abbildung 6: Allgemeine Ansicht der Struktur der Informationsverarbeitung von einem realen Objekt zu einem digitalen Zwilling

Um das Verhalten der beiden Einzelantriebe im Umladebereich sowie des gesamten technischen Systems zu untersuchen und zu testen, wurden am Versuchsstand des Autors, Abb.7, eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt.

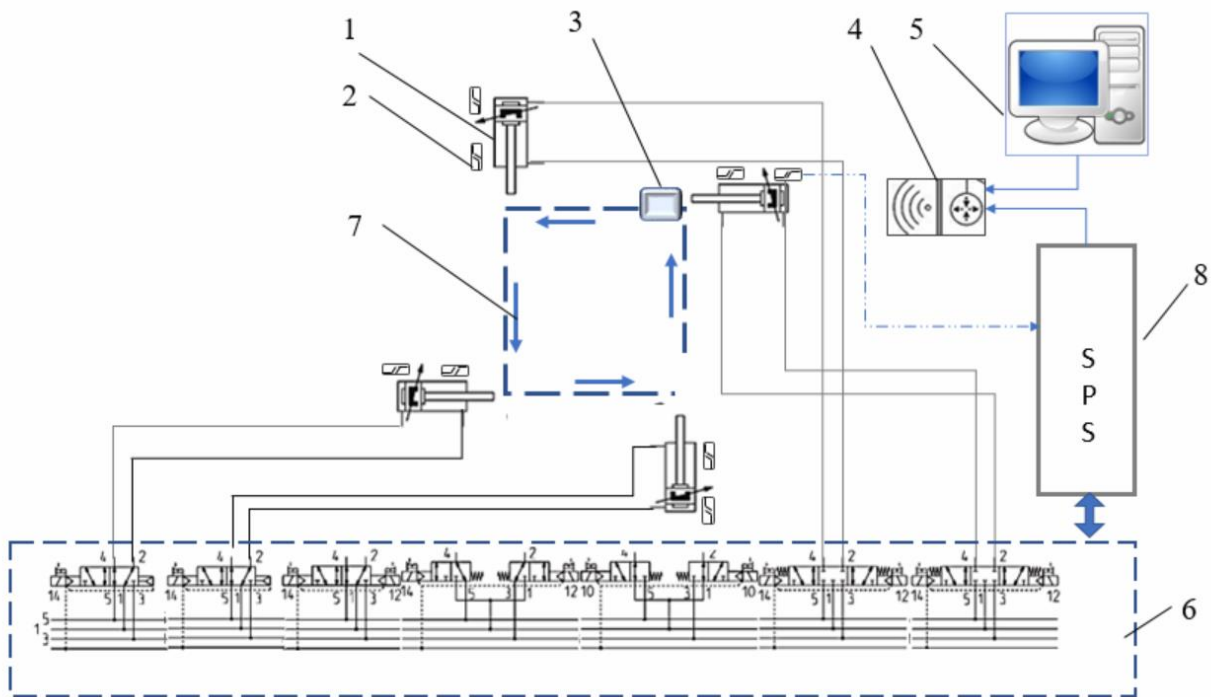


Abbildung 7. Allgemeine schematische Darstellung des Prüfstandes des digitalen pneumatischen Antriebsüberwachungssystems in Echtzeit: 1 - pneumatischer Zylinder mit beidseitiger Wirkung; 2 - Reed-Sensor zur Lokalisierung; 3 - Paket (Behandlungsobjekt); 4 - Router; 5 - Computer; 6 - pneumatischer Punkt; 7 - Fahrweg des Behandlungsobjekts; 8 - PLC (Software-Logik-Controller)

Als Steuereinrichtung wurde eine pneumatische Insel mit verschiedenen Verteilerstrukturen gewählt, um die Möglichkeiten der Umgestaltung des Systems der Versorgung der Arbeitsumgebung zu den Aktuatoren zu erweitern und die Betriebsreihenfolge des Umladebereichs zu ändern.

Nach dem obigen Schema wurde ein Versuchsstand montiert (dessen Gesamtansicht in Abb. 6 dargestellt ist) und Feldversuche des Umladebereichs auf der Grundlage pneumatischer Aktuatoren durchgeführt.

Frequenzmethoden zur Analyse dynamischer Eigenschaften werden bei Feldtests eines Systems, das komplexe Objekte enthält, nicht verwendet. In der Praxis weit verbreitete Untersuchungsmethoden und Berechnungen des Systems im Zeitbereich. Damit werden die Transienten ermittelt, die durch Sprung-, Impuls- oder Oberwelleneinflüsse in den Systemen verursacht werden.

Die ersten Arten von Signalen werden unter realen Bedingungen verwendet, um die Angemessenheit der berechneten und als Ergebnis physikalischer Experimente erhaltenen Transienten zu überprüfen. Darüber hinaus geben die Prozesse des schrittweisen Aufpralls auf das System eine klare Vorstellung von solchen dynamischen Eigenschaften des Systems wie Geschwindigkeit, Bremsen im System und der Dauer des Prozesses.

Eine Alternative zur mathematischen Beschreibung der digitalen Überwachung kann eine schematische Definition des in Abb. 8 gezeigten Mehrfachbildes sein. Jeder Block des Schemas zeigt den Namen der Sequenz (Tupel) von Parametern, die Modalität der Daten (zu welcher Menge sie gehören) und die Länge des Datentupels.

Beziehungen zwischen Knoten zeigen die semantische Unterordnung von Komponenten untereinander. Jede Komponente ist durch ein bestimmtes Multiimage definiert, dh im allgemeinen Fall unterscheiden sich die Multiimages der Komponenten voneinander sowohl in der Zusammensetzung als auch in der Art und Anzahl der Elemente.

In Abb. 9 - 12 die Abhängigkeiten der kinematischen Eigenschaften pneumatischer Aktuatoren im simulierten Forschungsobjekt unter Berücksichtigung unterschiedlicher Betriebsbedingungen: Druckänderung im Leistungsteil im Bereich von 2..6 bar, Änderung der axialen Belastung der Stange (1... ,2 kg), Stangendrehzahl im Betrieb und im Leerlauf ändern (über Drosseln mit Rückschlagventil MCU).

Die Ergebnisse der Studie verändern die Beschleunigung bei der ersten Fahrt des Versuchsstandes, bei eingestelltem Betriebsdruck am Eingang des Kraftspeichers 6 bar, Arbeitsbelastung 1 kg, Einhaltung der Wiederholung von Dauerbetrieb und Leerlauf, mit Bedienereingriff durch Steuerung und Router von Android Studio, Abb.9.

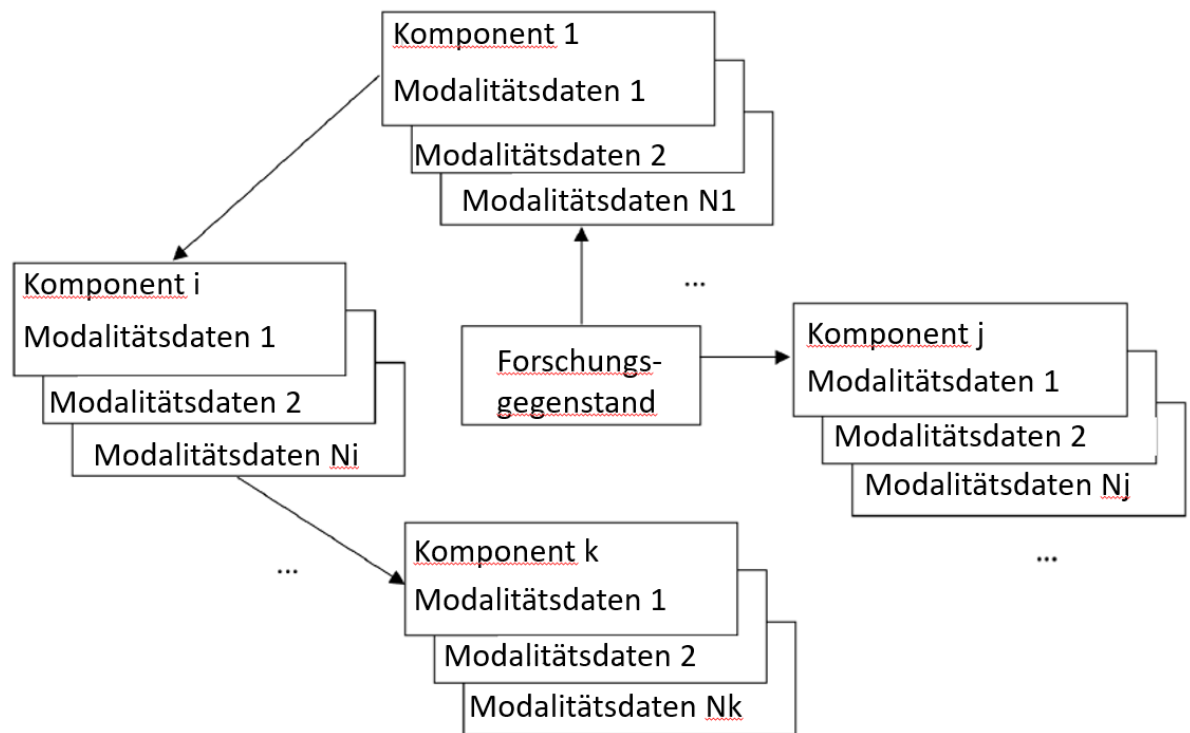


Abbildung 8: Das Gatorium-Modell des untersuchten Objekts

In einem mehrstufigen Modell kann der Objektraum zu einem Szenenraum erweitert werden, der mehrere Objekte enthält. Dann haben wir ontologische Modelle mit mehreren Ebenen und mehr Ebenen verschachtelt. Die Makroebene eines solchen verschachtelten ontologischen Modells mit mehreren Ebenen definiert eine Szene, die Objekte als Ganzes enthält, und die Mikroebene eines verschachtelten ontologischen Modells mit mehreren Ebenen definiert jedes Objekt einzeln. Ein mehrstufiges ontologisches Modell auf Makroebene lässt sich in Form einer Graphendatenbank (Graph Database) realisieren, beispielsweise Neo4j und Amazon Neptune [256, S.12], da man mit dieser Art der Speicherung Beziehungen speichern kann und navigieren Sie sie. Knoten in einer Graphdatenbank werden verwendet, um Datenentitäten zu speichern, und Kanten werden verwendet, um Beziehungen zwischen Entitäten zu speichern. Die Implementierung auf Mikroebene kann, wenn sie zum Speichern detaillierter Modelldaten verwendet wird, auf Objektdatenspeichern basieren, da diese Art von Datenbank zum Speichern von Audio- und Videostreams, Bildern und anderen großen Dateien entwickelt wurde. Beispiele für Objektspeicher sind Azure Data Lake Store [257, S.12] und Azure File Storage.

Wenn ein zeitgebundenes Modell verwendet wird, um detaillierte Daten zu speichern, kann die Implementierung der Mikroebene unter Verwendung eines Zeitreihen-Datenspeichers wie Prometheus und TimescaleDB [358, S.122] durchgeführt werden, der darauf ausgelegt ist, Datenzeitreihen zu speichern. insbesondere Telemetriedaten.

Einer der möglichen Zwecke des mehrstufigen ontologischen Modells besteht darin, es in Informationsabrufsystemen zu verwenden. Da das mehrstufige ontologische Modell semantisch verwandte multimodale Daten enthält, empfiehlt es sich, es als Informationsbasis für die Suche nach ähnlichen Objekten zu verwenden (z. B. alle Motoren zu finden, die einen Zylinder einer bestimmten Größe haben). Im Fall eines solchen mehrstufigen ontologischen Modells kann es als Repository von externen Indexdatenspeichern (External Index Data Stores) beispielsweise mithilfe von Azure Search erstellt werden, da ein solches Repository es Ihnen ermöglicht, nach darin gespeicherten Daten zu suchen andere Speicher, die in diesem Fall Datenspeicher auf Mikroebene sein werden, die Muxel- und zeitliche Konnektivitätsmodelle implementieren. Der Hauptzweck des mehrstufigen ontologischen Modells besteht darin, die Struktur und detaillierte Darstellung einzelner Komponenten des digitalen Duplikats des Untersuchungsobjekts zu beschreiben.

Grafikdaten gehören zu den redundantsten aller digitalen Duplikatdaten. Daher ist es ratsam, ihre Komprimierung durchzuführen, um die zu speichernde Datenmenge zu reduzieren. Bei Verwendung von verlustbehafteten Komprimierungsalgorithmen [359, S.22], die es ermöglichen, den höchsten Komprimierungsgrad zu erreichen, besteht jedoch die Gefahr, dass die Bildqualität nach ihrer Wiederherstellung aus komprimierten Grafikdaten reduziert wird. Daher ist es ratsam, die Struktur des Bildes zu berücksichtigen, indem Sie interessante Bereiche identifizieren.

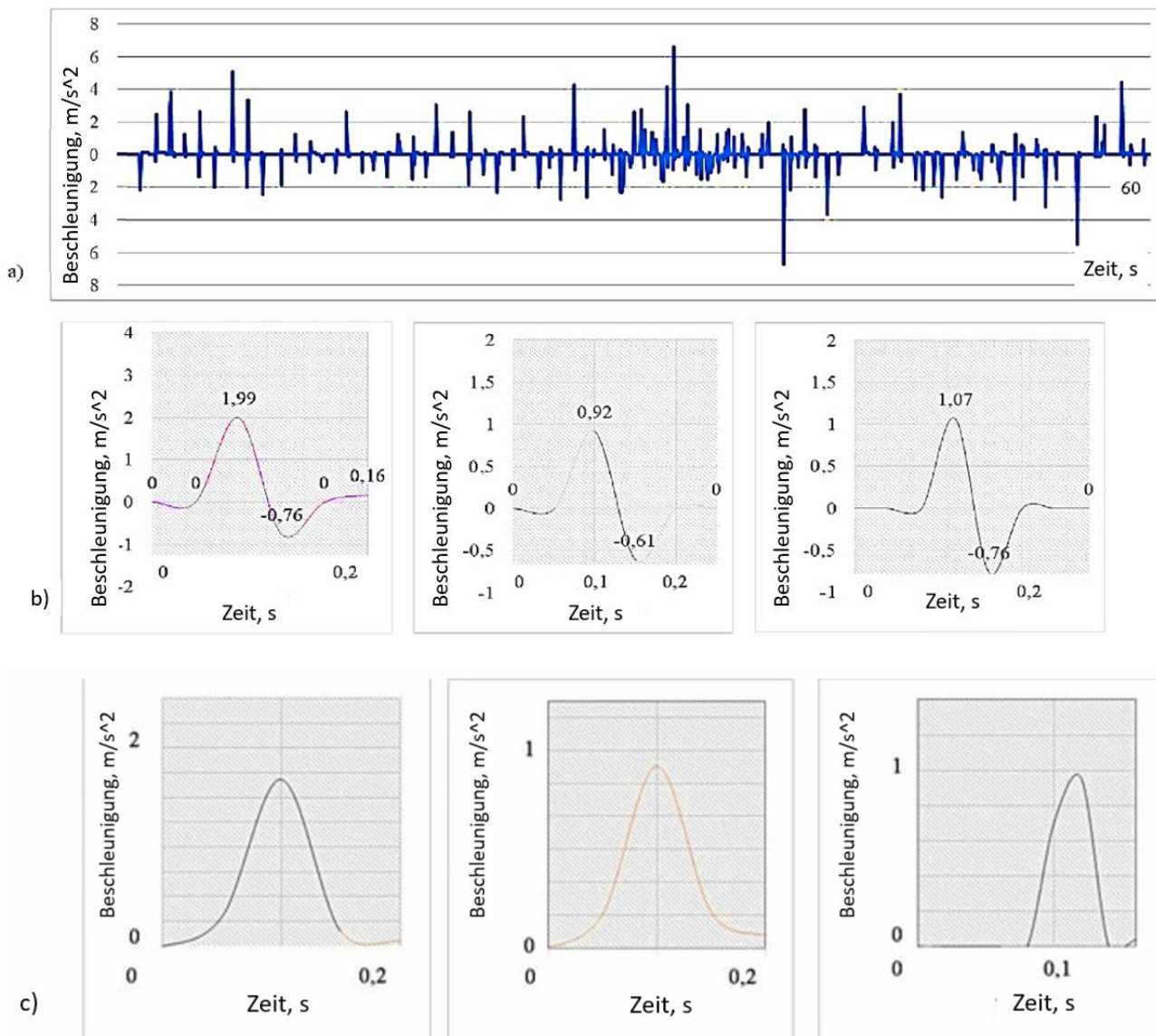
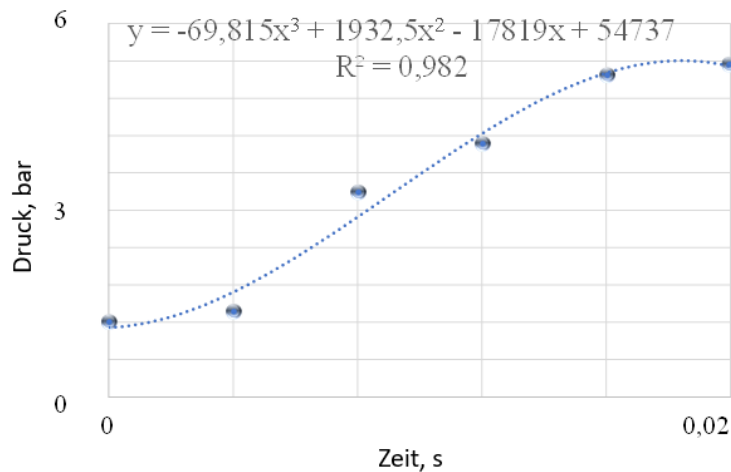
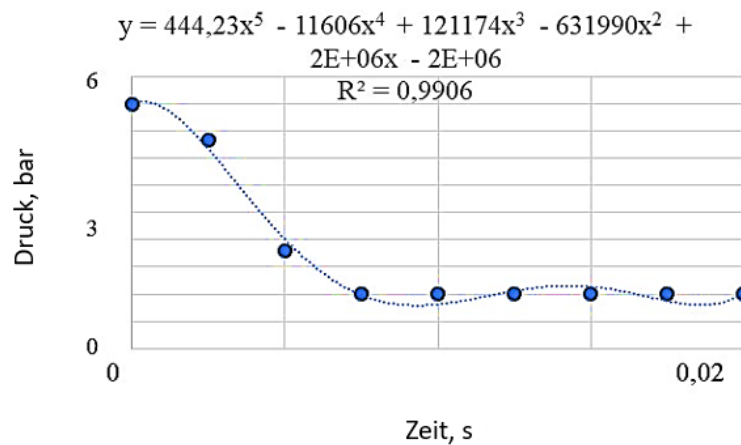


Abbildung 8. Graphen der Änderungen der kinematischen Parameter des ersten pneumatischen Aktuators im PTM des Versuchsstandes a) verallgemeinerter Graph a(t) der Beschleunigungsänderung vom Messzeitintervall bis 1 h ; b) skalierte Teile des Diagramms a(t) über einzelne Intervalle von Betriebsstunden des pneumatischen Stellantriebs in Excel; c) b) skalierte Teile des Diagramms der Geschwindigkeitsabhängigkeit von der Zeit $V(t)$ in Excel

Um eine mathematische und statistische Auswertung der erhaltenen experimentellen Diagramme durchzuführen, werden wir den Bereich der Druckänderung trennen und die entsprechende Änderung der Beschleunigung der Stange des Pneumatikzylinders zum Zeitpunkt des Hubs überwachen.



a)



b)

Abbildung 9. Experimentelle Daten zu Druckschwankungen in den Arbeitskammern von Pneumatikzylindern während des Betriebs und im Leerlauf: a) Druckschwankungen in der Kolbenkammer; b) Druckschwankungen in der Stangenkammer.

Der maximale Druck wird im Kolbenhohlraum in 0,02 s erreicht, was die Ergebnisse des mathematischen Modells von Abb. 9 bestätigt. Die Daten wurden während des Betriebs des doppelwirkenden pneumatischen Aktuators erhalten (Durchmesser des Kolbens des doppelwirkenden pneumatischen Zylinders 20 mm, für die Stange -8 mm, mit Arbeitsdruck - 6 bar; Rohrleitungsdurchmesser 4 mm). Die Einschätzung der Angemessenheit des oben beschriebenen mathematischen Modells zur Arbeit des realen Objekts wird nach der Nähe der Ergebnisse der Berechnungen mit den experimentellen Befunden bewertet. Der relative Fehler übersteigt 5 % nicht.

Die erhaltenen Ergebnisse, Abb. 10, zeigen eine signifikante Zunahme des Widerstands, der mit der Betätigung des eingebauten Dämpfers während des Betriebs des Antriebs verbunden ist.

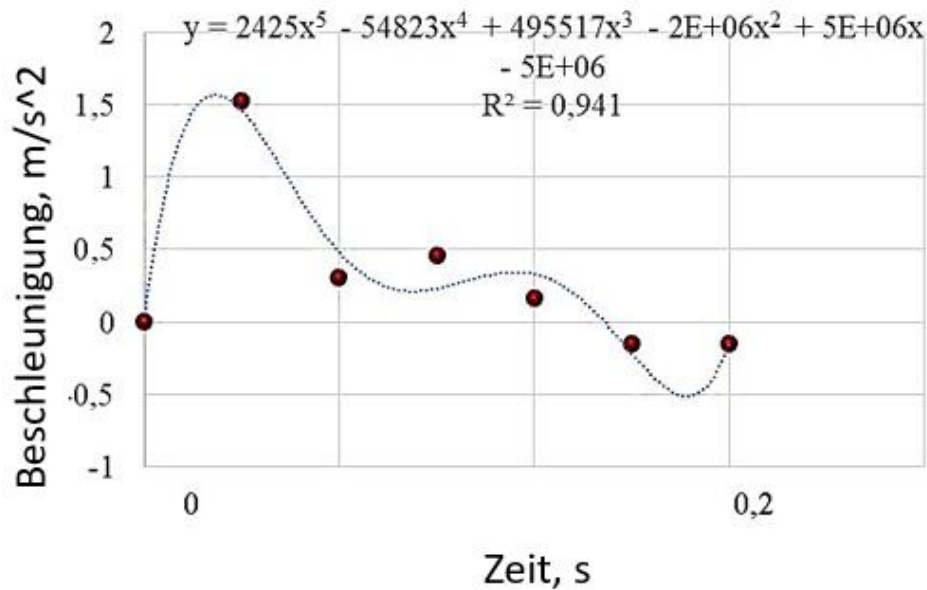


Abbildung 10. Experimentelle Daten zu Beschleunigungsänderungen während der Laufzeit

Betrachten Sie das Verhalten des technischen Systems beim Betrieb von pneumatischen Stellantrieben innerhalb des Drucks an der Hauptquelle von 3 bar, abhängig von den vorherigen Belastungsparametern, Abb.11.

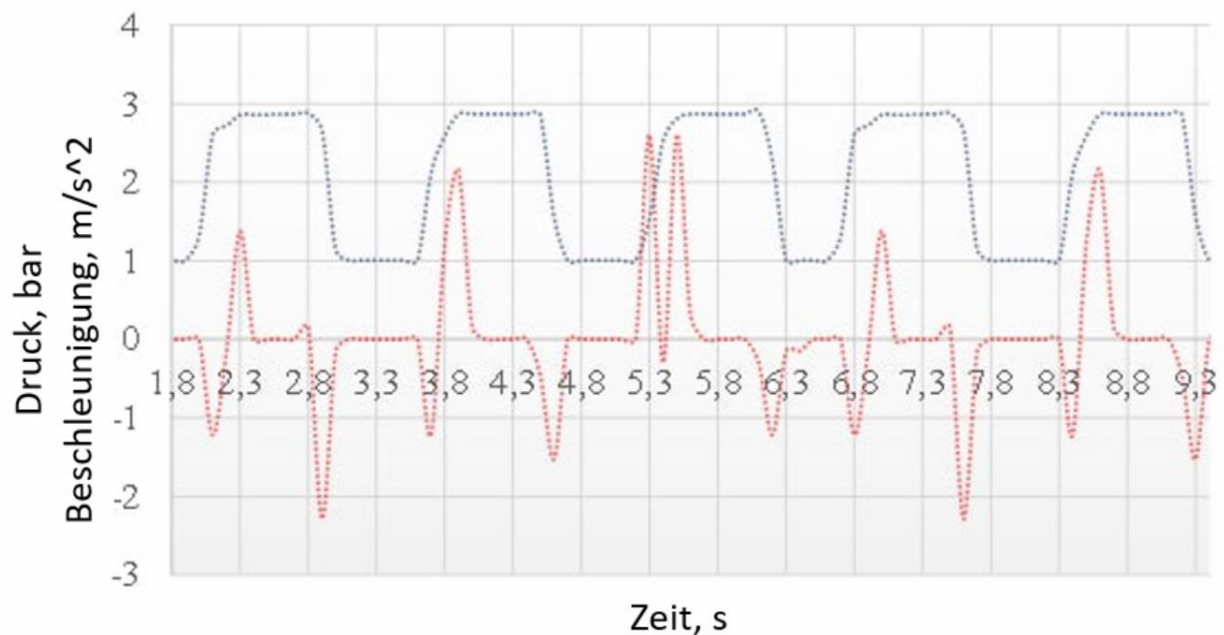
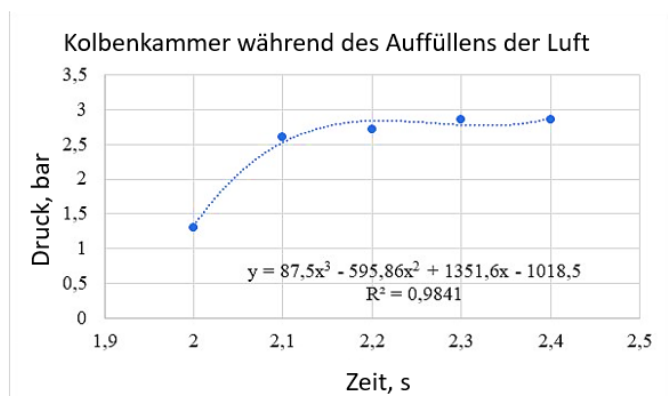


Abbildung 11. Testergebnisse für pneumatische Antriebe bei einem Mindestdruck von 3 bar

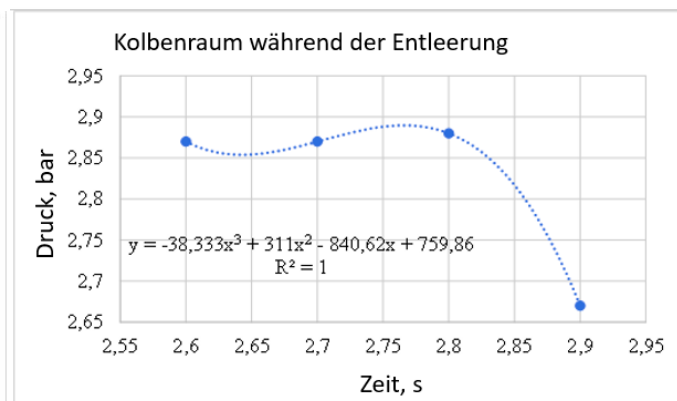
Die Ergebnisse von Abb. 12 zeigten die Wiederholbarkeit des pneumatischen Signals im Kolbenraum während des Vorgangs des Einspritzens und Entlüftens. Darüber hinaus veranschaulicht das Diagramm der Beschleunigung über die Zeit deutlich die Funktionsweise der im Pneumatikzylinder eingebauten Dämpfungsvorrichtung, die für eine automatische Bremsung des kinematischen Kolbenstangenpaars zum Zeitpunkt des Erreichens des Endpunkts sorgt (Hervorhebung auf der Abdeckung). Um die Ergebnisse klarer zu visualisieren. Lassen Sie uns einen Zyklus des Antriebs trennen, Abb. 12, und die Ergebnisse mit Hilfe von Elementen der technischen Analyse und Diagrammen von Annäherungsfunktionen von Excel teilen.



a)



b)



c)

Abbildung 12. Ergebnisse der einstufigen Analyse der PTM-Antriebsparameter

Die erhaltenen Ergebnisse von Fig. 12 bestätigen die vorherigen Ergebnisse der mathematischen Modellierung zur Änderung der Druckparameter in den Arbeitskammern des pneumatischen Zylinders mit bilateraler Wirkung innerhalb des Zeitintervalls von 0,4 s während der Injektion. Charakterisieren Sie auch die Änderung der Beschleunigung des Antriebs zum Zeitpunkt des Betriebs und im Leerlauf. Polynomgleichungen, die innerhalb der Graphen von experimentellen Punkten konstruiert wurden, zeigten hohe Werte der Approximationskoeffizienten R^2 , was auf einen hohen Grad an Zuverlässigkeit der Approximation hinweist. Die geringe Wiederholbarkeit des Beschleunigungsplans weist auf die Notwendigkeit hin, zusätzliche Systeme in den Aufbau des Strömungs-Transportmoduls einzubeziehen, bei Aufgaben mit ruhigem Lauf und Abbremsen des Antriebs bei Kontakt mit zerbrechlichen Gegenständen. Um die Ergebnisse der Auswirkungen auf den untersuchten Antrieb aller drei Prozessparameter (Druck, Zeit, Beschleunigung) zusammenzufassen, empfiehlt es sich, Konturdiagramme zu verwenden, Abb.13.

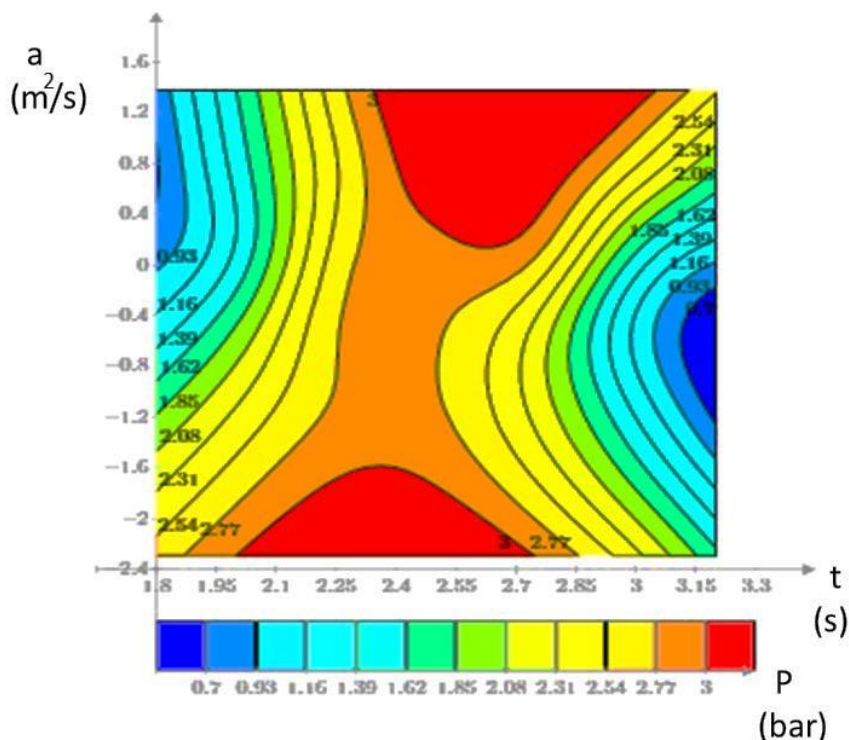


Abbildung 13: Analyse der PTM-Betriebsparameter bei einem Einzelhub und einem maximalen Druck von 3 bar

Mit Gliederungsdiagrammen können Sie 3D-Daten auf 2D-Diagrammen anzeigen. Jede Kontur repräsentiert einen Wert. Ein Konturdiagramm in Mathcad ist eine Reihe von Linien, von denen jede dem gleichen Wert der Funktion entspricht, die von zwei Variablen (Isolinien) abhängt. Solche Funktionen sind in der Untersuchung pneumatischer Systeme weit verbreitet. Die Konstruktionssequenz des Konturdiagramms ist wie folgt. Zunächst wird die Funktion zweier Variablen $f(x, y)$ eingeführt. Als nächstes werden die Werte von x_i und y_j bestimmt, die diskrete Punkte entlang der x- und y-Achse definieren. Die Matrix M wird mit den Werten von $f(x_i, y_j)$ gefüllt. Die Matrix M wird in Form einer Isolinienkarte angezeigt. Um den Einfluss eines bestimmten Parameters anhand von Konturlinien zu beurteilen, wird ihre funktionale Farbe verwendet. So können wir in unserem Fall den Einfluss des Drucks auf die Änderung der Antriebsbeschleunigung im Betrieb und im Leerlauf verfolgen.

Die erhaltenen Ergebnisse experimenteller Forschungen zeugen von der Effizienz des entwickelten Nachladegeräts mit digitaler Softwarekopie, die die Fernsteuerung des Systems und die Erfassung von Daten über seinen Betrieb in Echtzeit ermöglicht. Die Synthese des digitalen Überwachungssystems des pneumatischen Aktuators in Echtzeit wird zulassen, analytische Forschungen zwecks Annahme optimaler Verwaltungsentscheidungen durchzuführen. Das digitale Duplikatsystem bietet die Möglichkeit, den Zustand von Geräten zu überwachen, die Wahrscheinlichkeit und Folgen von Ausfällen vorherzusagen, das Risiko eines Geräteausfalls zu verringern und rechtzeitig gezielte Reparaturen oder Ersatztermine festzulegen.