**Automatisierte Verifikation und Validierung von automatisiert generierten Simulationsbasierten Digitalen Zwillingen für Diskrete Materialflusssysteme**

Story:

* V&V von digitalen Zwillingen benötigt als ersten Schritt Referenzwert, die Vergleichen werden können (siehe SIMULATION-BASED DIGITAL TWINS: AN ACCREDITATION METHOD)
* Normalerweise sind diese Werte Use-case spezifisch festzulegen und müssen im phyischen System und im digitalen Zwilling übereinstimmen
* Bei Automatische generierten Zwillingen wird häufig auf Process Mining und das (object centric) Eventlog Format gesetzt
* Gerade bei der automatischen erstellung macht ein manuelles V&V wenig Sinn, da es wieder manuellen Expertenaufwand erhöht
* Hier soll also ein V&V Verfahren entwickelt werden das Use-case unabhängig automatisiert eingesetzt werden kann
* Kernidee: das object-centric Event log dient als Grundlage für V&V

Vorgehen:

* Eventlog zeitlich aufsteigen sortieren
* Train,validation und test set bestimmen und mit 1 labeln
* Aufträge aus den Daten generieren
* Für Training, Validation und Test Zeitraum (mit selben Auftragsdaten) Eventlogs mit der Simulation erzeugen und mit 0 Labeln
* Classifier trainieren () und validieren gegenfalls Hyperparameter anpasssen.
* Wenn Model schon jetzt perfekt, testweise realistische Fehler in original Eventlogs von Validierung und Testset einbauen
* Das V&V System sollte nun die Abweichung erkennen
* Framework auf Schmausdaten final testen

**SIMULATION-BASED DIGITAL TWINS: AN ACCREDITATION METHOD**

Uneinheitliche Datenformate bis auf Eventlog für DT

- Automatisch = Stets aktuell und Warnung direkt, wenn Twin nicht mehr Realität abbildet => Online Validierung

- Hoher Komplexitätsgrad braucht automatische Verfahren

- Framework fördert Standardisierung und Transparenz

- Skalierbarkeit automatisierter Ansätze

- Manuelle Validierungen können Bias enthalten

- Kosteneinsparungen

**1. Einleitung (6-8 Seiten)**

1.1 Ausgangssituation

1.2 Problemstellung  
1.3 Zielsetzung der Arbeit (inclusive Forschungsfragen und Hypothesen)  
1.4 Aufbau der Arbeit/Methodisches Vorgehen

**2. Theoretische Grundlagen und Stand der Technik(10-12 Seiten)**

2.1 Digital Twin: Definition und Konzepte  
ARten von DIgitalen Zwillingen  
Data Driven DT  
Lerngründe Paper  
2.2 Datengetriebene Modellierung: Prinzipien und Methoden  
2.3 Materialflussplanung und -simulation  
Grundlegende Konzepte Christians Buch  
Prozesse und Ressourcen  
Pinedo Buch  
Produktionsplanung und Steuerung  
2.4 Validierung und Verifikation in der Simulation  
Standardformate und Datenquellen für Simulationsmodelle  
Validierungsmethoden Christians buch  
Kennzahlen und KPIs

* Mein Standardformat vorstellen, Pro Conta, vs. andere Formate
* Trace Analysis
* Herausforderungen bei der Validierung

**3. Stand der Forschung (8-10 Seiten)**

3.1 Bestehende Ansätze zur Validierung und Verifikation von Digital Twins  
3.2 Automatische Modellgenerierung und deren Gründe/Herausforderungen  
- Automatisch = Stets aktuell und Warnung direkt wenn Twin nicht mehr Realität abbildet => Online Validierung  
- Hoher Komplexitätsgrad braucht automatische Verfahren  
- Framework fördert Standardisierung und Transparenz  
- Skalierbarkeit automatisierter Ansätze  
- Manuelle Validierungen können Bias enthalten  
- Kosteneinsparungen  
3.3 Grenzen aktueller Standardformate und Datenstrukturen  
3.4 Lücken und offene Fragen in der Forschung

**4. Methodik und Framework-Entwicklung (12-15 Seiten)**

1. Anforderungsanalyse (Funktional Techjnisch Datenformat)
2. Konzeption  
   4.1 Beschreibung des Frameworks für die automatische Modellgenerierung => Rekurrieren auf standardisieretes Dateiformat  
   4.2 Verifikation des Modells: Strukturierte Pipeline und Validierungsziele  
   4.3 Datenbasierte Validierung: Eventdaten und KPIs zur Systembewertung  
   4.4 Definition von Validierungsszenarien (z. B. Maskierung, Blackbox-Szenarien)  
   4.5 Automatische Bewertungskriterien für die Modellvalidität (z. B. Ähnlichkeit zu R², Durchlaufzeiten, Effizienzkennzahlen)  
   4.6 Umgang mit fehlenden oder begrenzten Daten

**5. Implementierung des Frameworks (8-12 Seiten)**

5.1 Technische Umsetzung der Modellgenerierung  
UML Diagramm  
Integration in bestehende Systeme  
5.2 Automatische Validierung des generierten Modells  
5.3 Verwendung externer Informationsquellen zur Modellverifikation  
5.4 Schnittstellen zu Materialflusssystemen und Datenerhebung

**6. Fallstudie: Validierung eines Digital Twins im Produktionssystem (10-12 Seiten)**

6.1 Beschreibung des Produktionssystems und der verfügbaren Daten  
Beschreibung IoT Factory  
Datenaufbereitung und Analyse  
6.2 Aufbau des digitalen Zwillings für das Szenario  
6.3 Durchführung der Validierungsexperimente  
6.4 Ergebnisse und Interpretation: Grenzen und Fehler des Modells  
6.5 Grenzen und Falsifizierbarkeit des Modells anhand realer Daten

**7. Diskussion der Ergebnisse (5-7 Seiten)**

7.1 Kritische Reflexion der Framework-Entwicklung  
7.2 Limitationen der automatischen Validierung  
7.3 Aussagekraft und Belastbarkeit der entwickelten Methoden  
Vergleich mit manueller Modellierung  
7.4 Implikationen für die Forschung und die Praxis

**8. Fazit und Ausblick (4-6 Seiten)**

8.1 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse  
8.2 Beantwortung der Forschungsfragen  
8.3 Ausblick: Mögliche Weiterentwicklung des Frameworks  
8.4 Handlungsempfehlungen für die Anwendung in der Praxis

**9. Literaturverzeichnis**

**10. Anhang**

* Ergänzende Daten und Abbildungen
* Code- und Framework-Dokumentation
* Glossar (falls erforderlich)