

Konzeptbausteine eines modellbasierten Assistenzsystems zur Szenariengenerierung für Operator-Trainings in Prozessanlagen

Leonie Schicketanz¹, Mario Hoernicke² und Mike Barth³

Abstract: Trainings am Operator Training Simulator sind essenziell, um Operator auf die steigenden Anforderungen in automatisierten Prozessanlagen vorzubereiten. Die Erstellung anlagenspezifischer und lernzielorientierter Trainingsszenarien ist jedoch ein manueller Prozess und erfordert hohes Expertenwissen, wodurch eine systematische und individuelle Trainingsgestaltung eingeschränkt wird. Dieser Beitrag stellt ein modellbasiertes Konzept zur strukturierten Beschreibung von Trainingsszenarien vor. Im Fokus steht die Modellierung einer anlagenunabhängigen, modelldidaktischen Bibliothek sowie deren Integration in eine Ontologie zur Verknüpfung didaktischer Zielsetzungen mit anlagenspezifischen Zuständen. Die prototypische Umsetzung wird anhand eines Anwendungsbeispiels demonstriert.

Keywords: simulationsbasiertes Operatortraining, Szenariengenerierung, modellbasiertes Assistenzsystem, Wissensgraph, Prozessindustrie

1 Einleitung

1.1 Motivation und Problemstellung

Mit zunehmendem Automatisierungsgrad und dem verstärkten Einsatz von Assistenzsystemen greift das Leitwartenpersonal von Prozessanlagen (im Folgenden: Operator) seltener aktiv in den Anlagenbetrieb ein. Gleichzeitig bleibt ihre Verantwortung in kritischen und zeitkritischen Situationen bestehen, in denen weiterhin schnelle und belastbare Entscheidungen erforderlich sind [Br25]. Dadurch verschiebt sich das Anforderungsprofil von routinemäßigen Eingriffen hin zu seltenen, jedoch kognitiv anspruchsvollen Aufgaben. Dies wird potenziell durch Tätigkeiten wie die Analyse und gezielte Optimierung von Prozessabläufen erweitert. Zur Aufrechterhaltung dieser Fähigkeiten werden Operator Training Simulatoren (OTS) eingesetzt, mit denen der Anlagenbetrieb in unterschiedlichen Szenarien, etwa im Normal- oder Störfall, trainiert

¹ Karlsruhe Institut für Technologie, Institut für Regelungs- und Steuerungssysteme, Fritz-Haber-Weg 1, 76131

Karlsruhe, leonie.schicketanz@kit.edu,  <https://orcid.org/0009-0003-9394-3672>

² ABB AG Forschungszentrum Deutschland, Kallstadter Str. 1, 68309 Mannheim,
mario.hoernicke@de.abb.com

³ Karlsruhe Institut für Technologie, Institut für Regelungs- und Steuerungssysteme, Fritz-Haber-Weg 1, 76131

Karlsruhe, mike.barth@kit.edu,  <https://orcid.org/0000-0003-2337-063X>

werden kann [Na15]. Im Kontext szenariobasierter Trainingsansätze wird davon ausgegangen, dass insbesondere höhere kognitive Fähigkeiten durch eine Vielzahl realistischer Erfahrungen entwickelt werden [Ma09]. Effektives Training erfordert daher eine variable Auswahl von Szenarien unterschiedlicher Komplexität, die an definierten Lernzielen ausgerichtet sind und festlegen, welche Fähigkeiten und welches Wissen adressiert werden [Ma09]. Die Umsetzung und Anpassung solcher Trainingsszenarien in bestehenden OTS-Systemen erfordert jedoch in der Regel Eingriffe in die zugrunde liegenden, dynamischen Prozessmodelle, insbesondere zur Abbildung von Fehlersituationen. Dadurch sind sowohl die Pflege bestehender als auch die Erstellung neuer Szenarien mit erheblichem Aufwand und spezialisiertem Fachwissen verbunden [Pa14]. Gleichzeitig ist die Verfügbarkeit geeigneter Trainingsszenarien häufig eingeschränkt, was durch fortlaufende Anpassungen an Prozessanlagen, z.B. infolge von Modernisierungen oder Reparaturen, zusätzlich verstärkt wird. In der Praxis wird das Training in der Regel von Ausbildern orchestriert, die Szenarien entsprechend dem Erfahrungsstand der Operator auswählen, sowie Hinweise und Feedback während der Durchführung geben [Ma19]. Allerdings beruhen Trainings häufig nicht auf expliziten didaktischen Konzepten und unterstützen systematische Progressionen der Aufgaben- und Anlagenkomplexität nur unzureichend [Na15]. Zudem bestehen Unsicherheiten bei erfahrenen Operatoren in ihrer Rolle als Ausbilder, was den Bedarf an unterstützenden Werkzeugen für das didaktische Trainingsdesign unterstreicht [Ko18]. Zwar können Ausbilder teilweise Prozessparameter variieren, um unterschiedliche Anlagenzustände im OTS zu erzeugen, jedoch sind Personen, die sowohl über die erforderliche technische Expertise als auch über didaktische Kompetenzen verfügen, nur begrenzt verfügbar [Ka21]. In der Folge findet Training häufig nur unregelmäßig und in Gruppen statt, wodurch individuelle Lernbedarfe nur eingeschränkt berücksichtigt werden können [Ma19].

Insgesamt ist die Bereitstellung und Auswahl von Trainingsszenarien heute stark durch manuelle und personenbezogene Prozesse geprägt, die weder eine systematische Skalierung der Szenarienvielfalt noch eine konsistente Ausrichtung an Lernzielen unterstützen. Dies verdeutlicht den Bedarf nach Ansätzen, die didaktische Entscheidungen systematisch mit anlagenspezifischen Zuständen verknüpfen und so eine strukturierte Grundlage für die Gestaltung und Auswahl von Trainingsszenarien schaffen.

1.2 Forschungslücke

Trainingsszenarien beschreiben realistische, zeitlich begrenzte Abfolgen von Ereignissen, die auf definierte Lernziele ausgerichtet sind [Pe14a]. Im Kontext simulationsbasierter Trainings in der Prozessindustrie müssen solche Szenarien jedoch nicht nur didaktisch strukturiert, sondern zugleich durch konkrete anlagenspezifische Zustände und mögliche Fehlersituationen beschrieben werden. Dadurch entsteht die Anforderung, didaktische Entscheidungen, etwa zur Auswahl von Lernzielen und Aufgaben, konsistent mit anlagenspezifischen Situationen zu verknüpfen. Gleichzeitig erfordert eine effektive

Trainingsgestaltung, dass Szenarien in ihrer Komplexität variieren und an den Erfahrungsstand der Operator angepasst werden. Dies setzt voraus, dass sowohl didaktische als auch anlagenspezifische Informationen in einer Form vorliegen, die eine systematische Bereitstellung, Kombination und Variation erlaubt. Dem stehen jedoch die in Abschnitt 1.1 beschriebenen, überwiegend manuellen und personenbezogenen Vorgehensweisen entgegen. Damit entsteht der Bedarf nach einer strukturierten Repräsentation, die didaktischen Konzepte sowie anlagenspezifische Zustände gemeinsam abbildet und deren konsistente Verknüpfung ermöglicht. Diese bildet die Grundlage für die systematische Generierung von Trainingsszenarien.

1.3 Systemkontext und Beitrag

Vor diesem Hintergrund wird in diesem Beitrag das Konzept eines modellbasierten Assistenzsystems vorgestellt, das die Generierung von Trainingsszenarien unter Berücksichtigung didaktischer Zielsetzungen, anlagenspezifischer Situationen sowie bereits durchlaufener Trainings unterstützt. Ziel ist die Ableitung einer formalen Szenariobeschreibung, die zur automatisierten Konfiguration von OTS-Systemen genutzt werden kann. Der Systemkontext des Assistenzsystems ist in Abb. 1 dargestellt. Zentrale Grundlage bildet die *modelldidaktische Bibliothek* (Block A), in der didaktische Konzepte strukturiert, wissensbasiert und durch Experten kuratiert repräsentiert werden. Kompetenzen beschreiben dabei trainierbare Fähigkeiten wie beispielsweise die Diagnose von Fehlersituationen. Darauf aufbauend definieren Lernziele, welche Fähigkeiten in einem Szenario adressiert werden sollen, etwa dass der Operator anhand beobachteter Prozessabweichungen die fehlerhafte Komponente identifizieren kann. Aufgaben konkretisieren diese Lernziele, welche Aktivitäten der Operator im Training auszuführen hat, und damit bestimmen, welche Interaktionen im OTS ermöglicht werden müssen. Ergänzend werden im *Anlagenkontext* (Block B) komponentenspezifische Fehlersituationen und Betriebszustände einer Anlage aus Engineering-Daten wie Rohrleitungs- und Instrumentierungsfließbild (Piping and Instrumentation Diagrams, P&ID) sowie Steuerungslogik extrahiert und abgeleitet. Die didaktischen und anlagenspezifischen Informationen werden in einem gemeinsamen Wissensgraphen zusammengeführt, der unterschiedliche Aspekte der Szenariobeschreibung integriert. Die

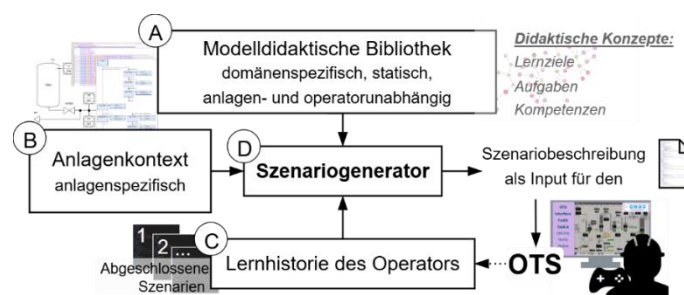


Abb. 1: Konzeptblöcke des Assistenzsystems zur Szenariogenerierung

zugrundeliegende Struktur dieses Wissensgraphen wird durch eine Ontologie definiert, die im Rahmen dieses Beitrags eingeführt wird und die formale Grundlage für die semantische Verknüpfung der unterschiedlichen Informationsbereiche bildet. Dabei ermöglicht diese Repräsentation die explizite Verknüpfung von Lernzielen, Aufgaben und konkreten Anlagenzuständen. Auf dieser Basis leitet der *Szenariogenerator* (Block D) Trainingsszenarien entlang der im Wissensgraphen modellierten Relationen ab. Die Generierung kann beispielsweise durch die Variation von Szenarien entlang eines Lernziels oder durch die Auswahl unterschiedlicher Fehlersituationen in einem Anlagenbereich gesteuert werden. Die *Lernhistorie des Operators* (Block C) dient dabei als zusätzlicher Kontext zur Berücksichtigung individueller Vorerfahrungen.

Die anlagenspezifische Ableitung von Fehlersituationen aus Engineering-Artefakten sowie die entsprechende Modellierung des Anlagenkontexts (Block B) wird in [Sc26] detailliert beschrieben, während die Komponenten zur Berücksichtigung der Lernhistorie und zur Szenariogenerierung Gegenstand zukünftiger Arbeiten sind. Die Ontologie als strukturgebendes Modell für den Wissensgraphen wird in diesem Beitrag mit Fokus auf die konzeptionelle Modellierung der modelldidaktischen Bibliothek (Block A) sowie deren Schnittstelle zu den anderen Bereichen vorgestellt. Die Modellierung wird in Abschnitt 2 beschrieben. Anschließend demonstriert Abschnitt 3 die Anwendung der Ontologie zur Erstellung der modelldidaktischen Bibliothek und zur vereinfachten Ableitung von Trainingsszenarien. Im Folgenden wird diese Ontologie konzeptionell ausgearbeitet.

2 Konzept

2.1 Gesamtstruktur der Ontologie

Abb. 2 illustriert die Ontologie und die darin modellierten Elemente. Diese basiert auf einer domänenunabhängigen Ontologie für szenariobasiertes Training [Pe14b] sowie auf einer Ontologie zur Strukturierung von Lernzielen und deren Abhängigkeiten [Ri24] und wurde für das Operatortraining in der Prozessindustrie angepasst. Da die zugrunde liegenden Ontologien breitere Anwendungsfälle adressieren, wurden nur diejenigen Elemente übernommen, die für die Generierung von Trainingsszenarien im Kontext des Operatortrainings in der Prozessindustrie geeignet sind. Insbesondere wird der in [Pe14b] enthaltene Fokus auf die dynamische Anpassung von Aufgaben während der Simulationsausführung nicht berücksichtigt, da Szenarien im vorliegenden Ansatz vorab generiert und dem OTS bereitgestellt werden. Stattdessen liegt der Schwerpunkt auf der Modellierung und Verknüpfung der für die Szenariobeschreibung im OTS relevanten Elemente.

Auf dieser Grundlage zeigt Abb. 2 das entwickelte Ontologiemodell, das vier Domänen unterscheidet. Diese strukturieren unterschiedliche Aspekte der Szenariogenerierung und

können den in Abb. 1 eingeführten Systemblöcken zugeordnet werden. Die *Anlagenumgebung* bildet den Anlagenkontext (Block B in Abb. 1) ab und stellt die anlagenspezifischen Informationen bereit, insbesondere komponentenbezogene Fehlersituationen (*FaultCondition* in Abb. 2), die in Form eines Wissensgraphen gemäß [Sc26] erfasst werden. Eine Beschreibung erfolgt in Abschnitt 2.2. Das *Didaktische Framework* entspricht der modelldidaktischen Bibliothek (Block A in Abb. 1) und enthält die zur Strukturierung von Trainingsszenarien erforderlichen didaktischen Konzepte, insbesondere Kompetenzen (*Competency*), Lernziele (*LearningObjectiveType*) und Aufgaben (*TaskType*). Die *Szenariodomäne* bildet die Instanziierungsebene für konkrete Trainingsszenarien und entspricht dem Kontext des Szenariogenerators (Block D in Abb. 1). Sie enthält instanziierte Lernziele (*LearningObjective*), Aufgaben (*Task*) sowie anlagenspezifische Informationen (*Information*), die die Beschreibung eines Szenarios (*Scenario*) definieren. Dabei beschreibt *Information* insbesondere die ausgewählte Fehlersituation sowie den operativen Kontext für die Umsetzung im OTS. Durch diese Instanziierung kann beispielsweise ein *LearningObjectiveType* „Identifizieren der fehlerhaften Komponente“ mit einer konkreten Fehlersituation verknüpft werden, bei der ein Zulaufventil XV001 während der Befüllung eines Tanks T001 unerwartet geschlossen bleibt. Daraus ergeben sich ein konkretes Lernziel sowie eine zugehörige Aufgabe, etwa die fehlerhafte Komponente während der Befüllung von T001 zu identifizieren. Zur Repräsentation der Lernhistorie des Operators (Block C in Abb. 1) dient die Domäne *Lernprofil*, die den aktuellen Lernstand eines Operators abbildet. In dieser Arbeit wird sie auf Kompetenzniveaus (*CompetencyLevel*) eines Lernenden (*Learner*) reduziert und dient der Berücksichtigung individueller Vorerfahrungen. Die Domänen Lernprofil und Szenariodomäne werden vereinfacht betrachtet und dienen primär der Veranschaulichung der Integration mit dem Didaktischen Framework und der Anlagenumgebung.

Im Folgenden wird zunächst der Anlagenkontext und die darin enthaltenen anlagenspezifischen Informationen erläutert, bevor in Abschnitt 2.3 die didaktischen Konzepte ausgearbeitet werden.

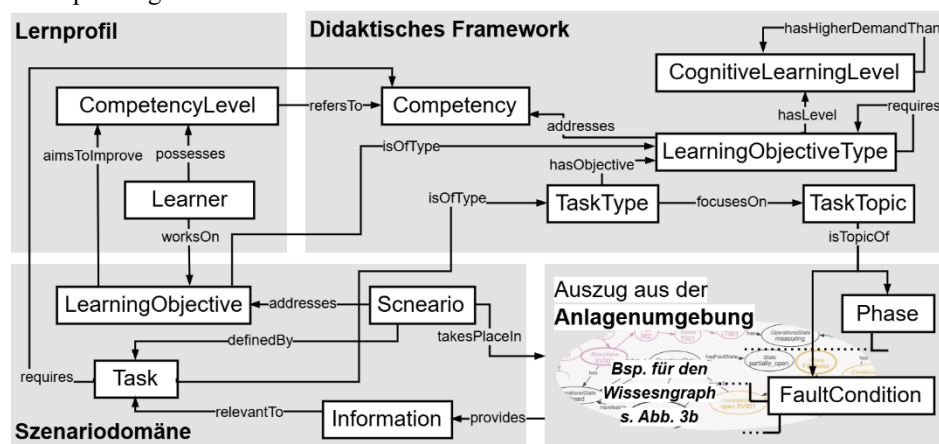


Abb. 2: Struktur der Ontologie als Basis für die Generierung von Szenarien.

2.2 Übersicht zur Modellierung des Anlagenkontexts

Ein zentraler Anwendungsfall von OTS besteht darin, dass Operator den Umgang mit potenziellen Störfällen oder Fehlfunktionen einer konkreten Anlage trainieren. Solche Situationen werden im Folgenden als Fehlersituationen bezeichnet. Der in [Sc26] vorgestellte Ansatz ermöglicht es, aus strukturierten Engineering-Daten, insbesondere zu Topologie und Steuerungslogik, Fehlersituationen abzuleiten und gemeinsam mit ihrem operativen Kontext in einem Wissensgraphen zu repräsentieren. Abb. 3 veranschaulicht dies exemplarisch anhand eines P&ID (a) sowie eines entsprechenden Ausschnitts des Wissensgraphen (b). Für die Nutzung in der Szenariogenerierung ist es erforderlich, Fehlersituationen strukturiert und in Bezug auf ihren operativen Kontext zu beschreiben. Gemäß [Sc26] wird eine Fehlersituation (*FaultCondition*) als Abweichung zwischen einem erwarteten und einem tatsächlich eingenommenen Zustand einer Anlagenkomponente modelliert. In Abb. 3 ist dies für das Ventil XV001 dargestellt, das entgegen der Steuerungsaktion (*ControlAction*) „open XV001“ im Zustand *closed* verbleibt. Zur selben *ControlAction* können auch weitere *FaultCondition* auftreten, z.B. wenn das Ventil nur teilweise und nicht vollständig öffnet (*partially_open*). Für die Bestimmung des erwarteten Zustands ist der operative Kontext entscheidend, da die Bedeutung einer Zustandsabweichung vom jeweiligen Ablauf der Anlage abhängt. Dieser wird durch Elemente der Steuerungsstruktur beschrieben, insbesondere *Phase* und *ProceduralStep* (in Abb. 3 z.B. „Fill T001“ und „Start Filling“), in denen konkrete Steuerungsaktionen ausgeführt werden. Erst durch diese Einbettung wird festgelegt, welcher Zustand in einer gegebenen Situation erwartet wird und ob eine Fehlersituation vorliegt. Die so strukturierte Repräsentation stellt insbesondere *FaultCondition* sowie deren Einbettung in den operativen Ablauf als weiterverwendbare Elemente für die Szenariogenerierung bereit. Für eine vollständige Szenariobeschreibung ist jedoch die Verknüpfung mit didaktischen Konzepten erforderlich, die im folgenden Abschnitt beschrieben werden.

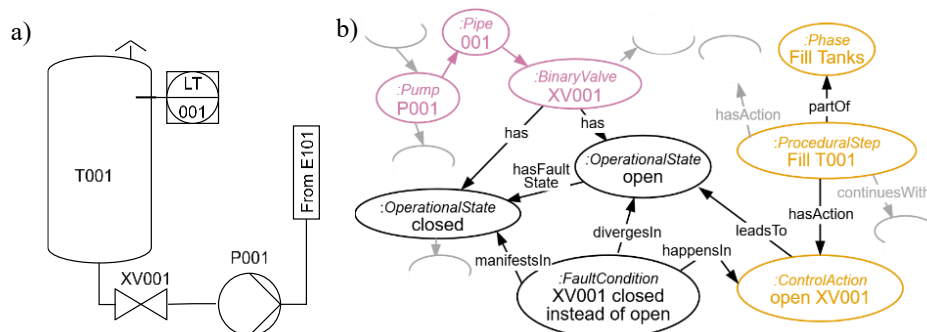


Abb. 3: (a) P&ID-Ausschnitt einer vereinfachten Prozessanlage mit Tank T001, Ventil XV001, Pumpe P001 und Levelsensoren LT001 (b) korrespondierender Ausschnitt des Anlagenkontexts als Wissensgraph gemäß [Sc26] mit einer beispielhaften Fehlersituation (*FaultCondition*). Rosa Elemente repräsentieren Anlageninformationen, gelbe die Steuerungsstruktur.

2.3 Modellierung und Integration des didaktischen Frameworks

Wie in Abschnitt 2.1 eingeführt, umfassen diese didaktischen Konzepte insbesondere Kompetenzen, Lernziele und Aufgaben. Wie in Abb. 2 gezeigt, beschreiben zentrale Relationen innerhalb des Didaktischen Frameworks die strukturellen Zusammenhänge zwischen den als Knoten modellierten Konzepten. Lernzieltypen (*LearningObjectiveType*) adressieren jeweils bestimmte Kompetenzen (*Competency*) über die Relation *addresses* und legen damit fest, welche Fähigkeiten durch ein Szenario trainiert werden sollen. Aufgabentypen (*TaskType*) sind über die Relation *hasObjective* eindeutig einem *LearningObjectiveType* zugeordnet und beschreiben die zur Zielerreichung erforderlichen Aktivitäten. Dadurch wird sichergestellt, dass Aufgaben konsistent auf die zugrunde liegenden Lernziele ausgerichtet sind. Zur Differenzierung unterschiedlicher kognitiver Anforderungen werden die Stufen der Taxonomie nach Bloom als kognitive Lernzielstufen (*CognitiveLearningLevel*) in die Ontologie integriert [Bl56]. Diese unterscheidet beispielsweise die Stufen *remember*, *understand*, *apply*, *analyze*, *evaluate* und *create*, die unterschiedlich hohe Anforderungen repräsentieren. Die dadurch entstehende Hierarchie der *CognitiveLearningLevel* wird über die Relation *hasHigherDemandThan* modelliert. Solche hierarchischen Klassifikationen werden im Trainingsdesign insbesondere genutzt, um Lernziele entlang steigender Anforderungen zu strukturieren und schrittweise aufeinander aufzubauen [Da09]. Zur Einordnung werden dafür *LearningObjectiveType* den *CognitiveLearningLevel* über die Relation *hasLevel* zugewiesen. So kann beispielsweise ein Lernzieltyp wie das Identifizieren einer fehlerhaften Komponente der Lernzielstufe *analyze* zugeordnet werden.

Zusätzlich werden Abhängigkeiten zwischen unterschiedlichen *LearningObjectiveType* durch die Relation *requires* modelliert. Diese ergänzt die generische Hierarchie der kognitiven Lernzielstufen, indem sie explizite Voraussetzungen zwischen Lernzielen beschreibt, die nicht allein aus der Taxonomie ableitbar sind. So kann beispielsweise das Diagnostizieren einer *FaultCondition* während einer *Phase* der Lernzielstufe *analyze* zugeordnet werden. Eine darauf aufbauende Aufgabe, in der gezielt eine bestimmte Art von Fehlersituation identifiziert werden soll, kann ebenfalls dieser Stufe zugeordnet sein, erfordert jedoch spezifisches Vorwissen über das Verhalten einzelner Komponenten. Solche inhaltlichen Abhängigkeiten, die über die Einordnung zu den jeweiligen Lernzielstufen hinausgehen, motivieren daher die explizite Modellierung über die Relation *requires*. Die Integration mit dem Anlagenkontext erfolgt in der Szenariogenerierung durch die Instanziierung dieser didaktischen Vorlagen. Dabei wird über den sogenannten *TaskTopic* festgelegt, auf welchen Typ von anlagenspezifischem Element sich ein Szenario bezieht. Häufig entspricht dies einer *FaultCondition*, wie im Beispiel in Abb. 3b dargestellt. Alternativ kann auch eine *Phase* selbst als *TaskTopic* dienen, um Szenarien zu definieren, die sich auf den Normalbetrieb der Anlage konzentrieren. Dies ermöglicht es auch Kompetenzen wie das Verständnis von Automatisierungsabläufen gezielt zu üben, indem beispielsweise Abfolgen von Steuerungsaktionen innerhalb einer *Phase* nachvollzogen werden.

Im Folgenden wird gezeigt, wie die in Abschnitt 2 eingeführten ontologischen Strukturen konkret instanziiert und zur Ableitung von Szenariobeschreibungen genutzt werden. Dazu wird zunächst eine exemplarische modelldidaktische Bibliothek dargestellt und anschließend deren Verknüpfung mit dem Anlagenkontext aufgezeigt.

3 Demonstration und Anwendbarkeit

3.1 Aufbau der modelldidaktischen Bibliothek

Entlang der in Abschnitt 2.3 definierten Struktur kann eine modelldidaktische Bibliothek als Wissensgraph aufgebaut werden, in dem didaktische Konzepte als instanziierte Knoten und Relationen vorliegen. Die prototypische Umsetzung erfolgt in einem wissensgraphbasierten System auf Basis des Labeled-Property-Graph-Modells. Abb. 4 zeigt einen exemplarischen Ausschnitt. Beim Hinzufügen eines *LearningObjectiveType* (LOT), wie im Beispiel LOT2 („Identifizieren der Ursache eine Abweichung“), werden die zugehörigen didaktischen Relationen ergänzt. Dazu zählen insbesondere die Zuordnung zu einem *CognitiveLearningLevel* (CLL), die adressierte *Competency* sowie ein zugehöriger *TaskType*. Zusätzlich können Abhängigkeiten zu anderen *LearningObjectiveType* über *requires* modelliert werden, wie im Beispiel zwischen LOT2 und LOT1 („Erkennen von Prozessabweichungen“) dargestellt. Über den Aufgabentyp wird zudem ein *TaskTopic* festgelegt, das bestimmt, auf welchen Typ von anlagenspezifischem Element sich spätere Szenarien beziehen. Im gezeigten Beispiel verweist dieses auf *FaultCondition* und stellt damit die Grundlage für die Verknüpfung mit dem Anlagenkontext dar.

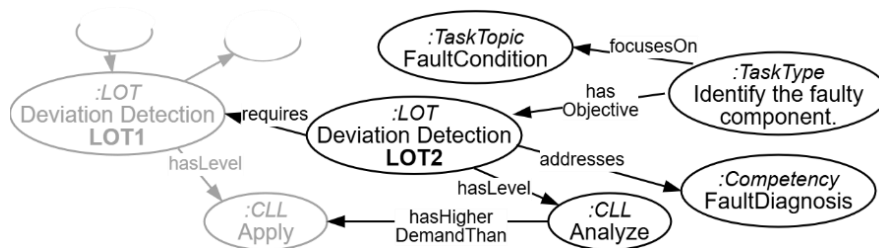


Abb. 4: Ausschnitt aus der modelldidaktischen Bibliothek. CLL steht für *CognitiveLearningLevel* und LOT für *LearningObjectiveType*.

3.2 Beispielhafte Ableitung einer Szenariobeschreibung

Ausgehend von einem *LearningObjectiveType* der modelldidaktischen Bibliothek kann eine Szenariobeschreibung durch die Verknüpfung mit dem Anlagenkontext abgeleitet werden. Im Beispiel wird dazu LOT2 ausgewählt. Über den zugehörigen *TaskType* wird

ein *TaskTopic* festgelegt, das im vorliegenden Fall auf *FaultCondition* verweist und damit den Bezug zum Anlagenkontext herstellt. Abb. 3a zeigt ein exemplarisches P&ID. Abb. 3b stellt einen Auszug der daraus abgeleiteten wissensgraphbasierten Repräsentation einschließlich einer modellierten *FaultCondition* dar. Eine solche Fehlersituation liegt z.B. vor, wenn das Ventil XV001 entgegen der Steuerungsaktion „open XV001“ im Zustand *closed* verbleibt und damit in einen operativen Kontext aus *Phase* („Fill T001“) und *ProceduralStep* („Start Filling“) eingebettet ist. Durch die Verknüpfung dieser Informationen mit dem ausgewählten *LearningObjectiveType* werden didaktische und anlagenspezifische Aspekte zu einer konsistenten Szenariobeschreibung integriert. Abb. 5 zeigt diese in einem beispielhaften YAML-Format, in dem die relevanten didaktischen und anlagenspezifischen Elemente strukturiert zusammengeführt sind.

```
learningObjective: Identify the root cause of a process deviation.
task: Identify faulty component.
competency: FaultDiagnosis
component: XV001
expected_state: open
deviated_state: closed
phase: Fill T001
procedural_step: Start Filling
control_trigger: open XV001
```

Abb. 5: Beispielhafte Szenariobeschreibung in einem vereinfachten YAML Format.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Beitrag stellt das Konzept eines modellbasierten Assistenzsystems zur Generierung von Szenarien für simulationsbasiertes Operatortraining vor. Zentrale Grundlage bildet eine Ontologie, in der didaktische Konzepte der modelldidaktischen Bibliothek mit anlagenspezifischen Informationen des Anlagenkontexts in einer gemeinsamen Struktur verknüpft werden. Dadurch wird eine formale Beschreibung von Szenarien ermöglicht, die als Ausgangspunkt für deren systematische Ableitung dient. Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt auf der konzeptionellen Modellierung dieser Struktur sowie der exemplarischen Demonstration ihrer Anwendbarkeit. Mehrere Aspekte, insbesondere die Abbildung individueller Lernvoraussetzungen, die Ausgestaltung der Szenariodomäne sowie Mechanismen zur Auswahl und Variation von Szenarien, werden dabei nur in vereinfachter Form berücksichtigt. Ebenso erfolgt keine Bewertung der generierten Szenarien oder deren Wirkung im Trainingskontext. Zukünftige Arbeiten adressieren die Entwicklung von Metriken und Auswahlmechanismen zur systematischen Bestimmung geeigneter Szenarien unter Berücksichtigung ihrer Komplexität, z.B. in Bezug auf die konkrete Fehlersituation, den didaktischen Anforderungen oder der Operatorerfahrung. Darüber hinaus wird untersucht, wie Anlagenänderungen in der Szenariogenerierung berücksichtigt werden können. Ebenso ist die Überführung der Szenariobeschreibung in simulationsbasierte Trainingsumgebungen, insbesondere in Operator Training Simulatoren, zu berücksichtigen.

Literaturverzeichnis

- [Br25] Brouwers, S.; Joung, W.: Predicting Skill Decay: A Practical Application of the Skill Decay Analysis Tool. *Ergonomics in Design* 33(2), S. 81-88, 2025.
- [Na15] Nazir, S.; Øvergård, K.; Yang, Z.: Towards effective training for process and maritime industries. *Procedia Manufacturing* 3/2015, S. 1519–1526, 2015.
- [Ma09] Martin, G.; Schatz, S.; Bowers, C.; Hughes, C.; Fowlkes, J.; Nicholson, D.: Automatic Scenario Generation through Procedural Modeling for Scenario-Based Training. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 53(26), San Antonio, TX 2009. SAGE Publications, Santa Monica, S. 1949–1953, 2009.
- [Pa14] Patle, D.; Ahmad, Z.; Rangaiah, G.: Operator training simulators in the chemical industry: review, issues, and future directions. *Reviews in Chemical Engineering* 30(2)/2014, S. 199–216, 2014.
- [Ma19] Marcano, L.; Haugen, F.; Sannerud, R.; Komulainen, T.: Review of simulator training practices for industrial operators: How can individual simulator training be enabled? *Safety Science* 115/2019, S. 414–424, 2019.
- [Ko18] Komulainen, T.; Sannerud, A.: Learning transfer through industrial simulator training: Petroleum industry case. *Cogent Education* 5(1)/2018, 2018.
- [Ka21] Kallakuri, R.; Bahuguna, P. C.: Role of Operator Training Simulators in Hydrocarbon Industry – a Review. *International Journal of Simulation Modelling* 20(4)/2021, S. 649–660, 2021.
- [Pe14a] Peeters, M.; Van den Bosch, K.; Meyer, J.; Neerincx, M.: The design and effect of automated directions during scenario-based training. *Computers & Education* 70/2014, S. 173–183, 2014.
- [Sc26] Schicketanz, L.; Hoernicke, M.; Barth, M.: Knowledge Graph-Based Scenario Generation for Simulation-Driven Operator Training in Process Plants, Angenommener Beitrag. In: *Automation Kongress Baden-Baden*, 2026
- [Pe14b] Peeters, M.; Van den Bosch, K.; Neerincx, M.; Meyer, J.: An ontology for automated scenario-based training. *International Journal of Technology Enhanced Learning* 6(3)/2014, S. 195–211, 2014.
- [Ri24] Rijgersberg-Peters, R.; van Vught, W.; Broekens, J.; Neerincx, M. A.: Goal Ontology for Personalized Learning and Its Implementation in Child's Health Self-Management Support. *IEEE Transactions on Learning Technologies* 17/2024, S. 903–918, 2024.