



Verbesserte Energieeffizienz und Prozessbeschleunigung
durch Datenintegration von der Prozessentwicklung bis zur Produktion

als Teil der Initiative

Energieeffizienz und Prozessbeschleunigung in der chemischen Industrie – ENPRO

White Paper

Anwendungsszenarien und Modellierungsanforderungen zur Datenintegration

Stand: 24. September 2015

Verbundpartner:

AixCAPE e.V., Aachen
BASF SE, Ludwigshafen
Bayer Technology Services GmbH, Leverkusen
Evonik Technology & Infrastructure GmbH
RWTH Aachen University, Aachen

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

1	Einleitung.....	3
2	Anwendungsszenarien	4
2.1	Anwendungsszenario der BASF SE	4
2.2	Anwendungsszenario der Bayer Technology Services	4
2.3	Anwendungsszenario der Evonik	8
3	Anforderungen an Informationsmodelle	11
4	Weiterer Projektverlauf.....	14

1 Einleitung

Eine durchgängige Vernetzung von Planungsinformationen über verschiedene Lebenszyklusphasen einer Anlage, ausgehend von ersten Entwürfen bis hin zur Betriebsphase, ist eine notwendige Voraussetzung für energiesparende Anlagen. Einerseits muss in frühen Planungsphasen schon die Information bereitstehen, welche Energieparameter alternative Anlagen aufweisen (Verbrauch, Wirkungsgrad, Emission, ...). Zum anderen muss für Optimierungen während des Betriebs einer Anlage ein einfacher Rückgriff auf zu Grunde liegende Informationen, Annahmen und Entscheidungen aus der Planungsphase möglich sein. Die Hauptziele des Verbundprojektes *Verbesserte Energieeffizienz und Prozessbeschleunigung durch Datenintegration von der Prozessentwicklung bis zur Produktion* als Teil der Initiative *Energieeffizienz und Prozessbeschleunigung in der chemischen Industrie – ENPRO* sind daher:

- Eine Systematik für die lebenszyklusübergreifende Modellierung von Objekten, basierend auf offenen Standards,
- eine exemplarische Ausgestaltung der Systematik, sowohl für herkömmliche Apparate und Maschinen als auch für standardisierte Verfahreseinheiten (Module), sowie
- eine Validierung der zuvor genannten Ergebnisse auf Basis praxisrelevanter Projektdaten durch exemplarische Gestaltung von Systemschnittstellen, die eine durchgängige Informationshaltung unterstützen.

An jeder Systemschnittstelle gehen Daten verloren, da diese im Nachfolgesystem zunächst nicht benötigt werden. Im Wartungssystem sind die zugrundeliegenden Simulationsergebnisse nicht mehr verfügbar, auch die Ergebnisse der Spezifikationsphase liegen häufig nicht mehr vor. Das Wissen um das „Warum“ geht so im Lebenszyklus der Anlage verloren, und damit ist eine langfristig stabile Energieeffizienz nicht immer gegeben. Im Wartungs- oder Anlagenänderungsprozess kann folglich nicht mehr schnell und sicher auf die ursprüngliche Datenbasis zugegriffen werden. Es ist z.B. schwierig, bei einer Ersatzbeschaffung zu überprüfen, welche der auslegungsrelevanten Fahrfälle noch gültig sind oder ob sich die Anforderungen an Fördermenge, Druck oder die Bauform zur Originalauslegung geändert haben.

In diesem Projekt sollen die datenmodellierungstechnischen Zusammenhänge der verschiedenen Lebenszyklusphasen erarbeitet und abgebildet werden. Festlegungen über die Datenstrukturen, deren Vererbung und Rückverfolgbarkeit über den Lebenszyklus eröffnen gerade bei modularen Gebilden oder Modulen ein sehr komplexes Informationsnetzwerk.

In Abschnitt 0 werden Anwendungsszenarien diskutiert, die das Potential der Datenintegration von der verfahrenstechnischen Prozessentwicklung bis zur Produktion verdeutlichen. In Abschnitt 0 gehen wir auf die Anforderungen, die Informationsmodelle zur Datenintegration erfüllen müssen. Abschnitt 0 gibt einen Ausblick auf die im Verbundprojekt geplanten Arbeiten.

2 Anwendungsszenarien

2.1 Anwendungsszenario der BASF SE

Als Anwendungsszenario wurde von BASF die Planung einer Pumpe ausgewählt. Pumpen sind wesentliche Bestandteile einer prozesstechnischen Anlage. Ihr Anteil am elektrischen Energieverbrauch liegt bei ca. 60–80%. Der Anteil am elektrischen Energieverbrauch ist im Wesentlichen vom Verfahren und dem Anlagentyp abhängig. Bei Conti-Anlagen liegt der Anteil höher, bei Batch-Anlagen niedriger. Feststoff-Verfahren verwenden im Vergleich weniger Pumpen.

Die Planung einer Pumpe ist ein gutes Beispiel für die Aufteilung einer einzelnen Aufgabenstellung in mehrere physikalische Objekte. Wegen Leistungsverteilung oder aus Wartungsgesichtspunkten können aus einem Simulationsobjekt „Druckerhöhung“ im weiteren Verlauf der Planung eine oder mehrere Pumpen werden. Später kann sich diese Pumpenzahl nochmals ändern: So können zur Erhöhung der Verfügbarkeit mehr Pumpen eingebaut werden, oder aus Energieeffizienzgründen die Zahl der Pumpen reduziert werden, aus m Pumpen können also n Pumpen werden. Die nötige Verknüpfung dieser Objekte über den gesamten Lebenszyklus muss ein Modell gewährleisten.

Ebenfalls am Beispiel einer Pumpe lässt sich ein Anwendungsszenario der automatisch auswertbaren Entscheidungen herausarbeiten. Sind Entscheidungen in einem Modell automatisiert auswertbar dokumentiert, kann ein Modell Fragen beantworten, die heute erheblichen Aufwand erfordern: Ändern sich heute Parameter, die Grundlage für Entscheidungen waren, lässt sich nur durch intensives Studium der Dokumentation oder Expertenwissen feststellen, welche Entscheidungen neu getroffen werden sollten. Ändert sich dagegen in einem entsprechend aufgesetzten Modell ein Entscheidungsgrund, so können die darauf basierenden Entscheidungen automatisch identifiziert und gegebenenfalls automatisch oder manuell überarbeitet werden. Des Weiteren lassen sich – bei Existenz eines Datenfundus früherer Entscheidungen – für eine konkrete zu treffende Entscheidung Muster finden, wie ähnliche Fragen früher erfolgreich gelöst wurden. Bei der Auslegung von Pumpen fällt der Planer für die Erfüllung der abstrakten Förderaufgabe die Entscheidung für eine Menge von konkreten Pumpen, die die nötigen Anforderungen erfüllt. Dabei spielen eine Reihe von Parametern eine Rolle, die auch Einfluss auf die Energieeffizienz haben können: neben den physikalischen Parametern wie Förderhöhe und Förderstrom sind dies z.B. die Dichtigkeit bei gefährlichen Stoffen oder die Verfügbarkeit des gewählten Modells im Lager (Ersatzmöglichkeit bei Ausfall). Ändert sich einer der Parameter, die die Entscheidung begründen, im Rahmen einer Anlagenmodifikation, so ist die Entscheidung für eine Pumpe neu zu prüfen. Ein Beispiel ist eine Anlage mit mehreren Betriebspunkten. Fällt der Betriebspunkt, der den maximalen Förderstrom erfordert hat, weg, so lässt sich eine Pumpe mit niedrigerem Förderstrom wählen. Hier kann der Planer durch ein Modell mit automatisiert auswertbaren Entscheidungen sinnvoll unterstützt werden.

Gerade aufgrund des hohen Anteils am elektrischen Energieverbrauch ist die durchgängige Abbildung der Planungs- und Auslegungsdaten in allen Lebenszyklusphasen eine Voraussetzung dafür, dass immer die energetisch optimale Pumpe verwendet wird, gerade auch im Fall der Ersatzbeschaffung. Sowohl die Abbildung der 1:n- und m:n-Beziehungen als auch die Dokumentation von Entscheidungen sind hier wichtige Modellbestandteile.

2.2 Anwendungsszenario der Bayer Technology Services

Vor dem Hintergrund einer durchgängigen Vernetzung von Planungsinformationen über verschiedene Lebenszyklusphasen einer Anlage lassen sich verschiedene Anwendungsszenarien bei der BTS

skizzieren. Bisher bilden fehlende oder ungenaue Dokumentationen von Entscheidungsprozessen ein zentrales Defizit. Infolge dessen ist es in späteren Lebenszyklusphasen oft nur schwer möglich, getroffene Entscheidungen nachzuvollziehen. Dies betrifft beispielsweise auch Entscheidungen, ob Bauteile der Anlage zur Steigerung der Zuverlässigkeit oder aus konstruktionstechnischen Gründen parallel verbaut wurden. Dieser Umstand trägt dazu bei, dass sich parallel und redundant angelegte Komponenten oft nur ungenügend in den Fließbildern widerspiegeln.

Allerdings sind es genau solche Informationen, die von einem Zuverlässigkeitsingenieur benötigt werden, wenn dieser die Anlage in Bezug auf die Zuverlässigkeit analysieren will. Eine der dabei verwendeten Analysemethoden ist das Erstellen von Zuverlässigkeitsmodellen. Diese Modelle bilden die informationstechnische Basis für gezielte Maßnahmen zur Steigerung der Verfügbarkeit der Anlage, um so unplanmäßige Stillstände und den mit ungeplantem An- und Abfahren einhergehenden erhöhten Energieverbrauch zu vermeiden.

Die Erstellung eines Zuverlässigkeitsblockdiagramms ist in Abbildung 1 festgehalten. Bei diesem Prozess werden drei Rollen unterschieden: der Zuverlässigkeits-, der Instandhaltungs- und der Betriebsingenieur. Die zentrale Aufgabe eines Zuverlässigkeitsingenieurs ist es, Dienstleistungen zu erbringen, welche die Zuverlässigkeit und damit die Verfügbarkeit verschiedener Anlagen steigern soll. Bei der Erstellung eines Zuverlässigkeitsmodells ist dieser Ingenieur aber auf Hilfe angewiesen, da er selbst nicht mit den unterschiedlichen Anlagen vertraut ist und die Fließbilder an einigen Stellen die tatsächliche Anlage nur ungenügend widerspiegeln.

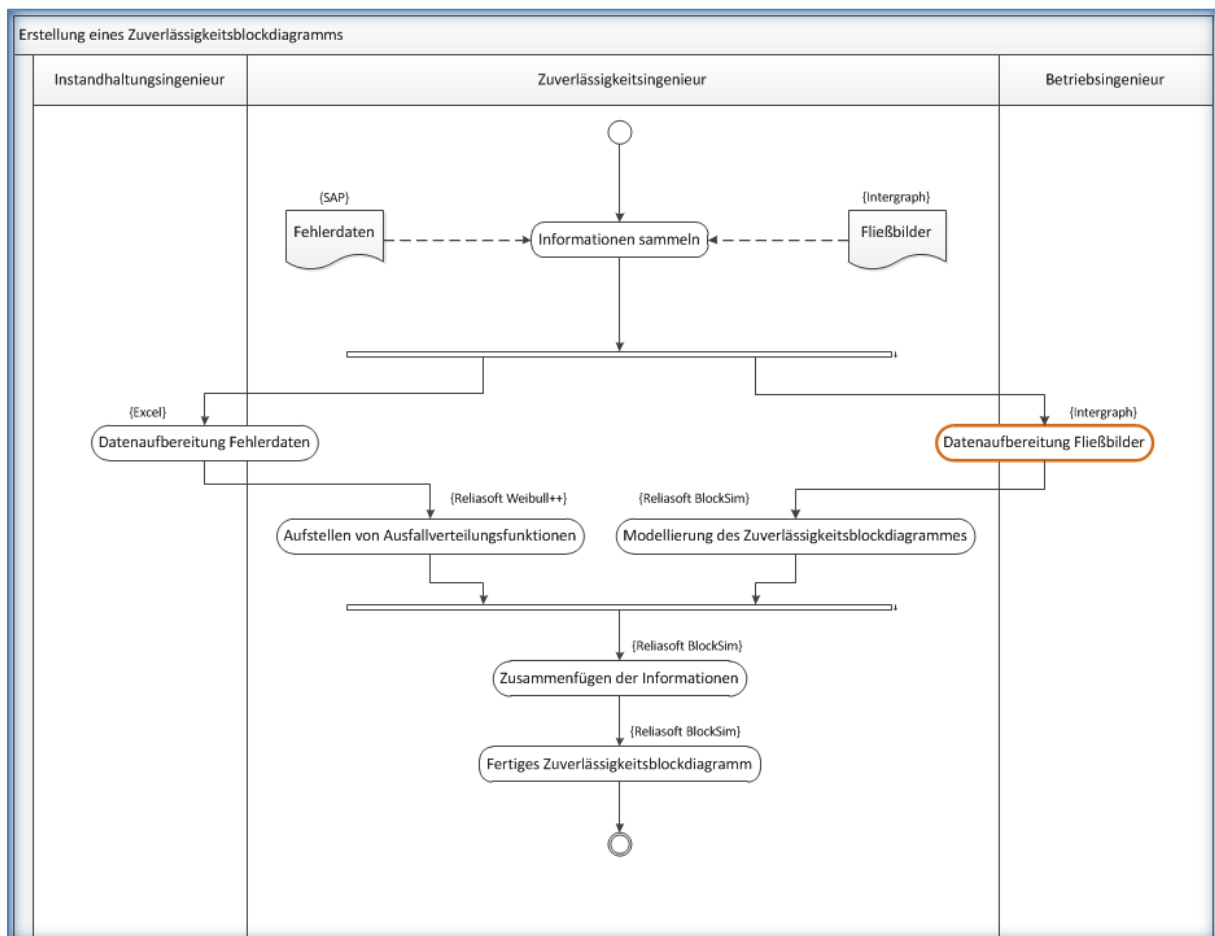


Abbildung 1: Erstellung eines Zuverlässigkeitsblockdiagramms

Dementsprechend greift der Zuverlässigkeitsingenieur bei der Datenaufbereitung auf die Hilfe von Anlagenexperten zurück. (Im obigen Modell wurde dabei aus Übersichtlichkeitsgründen zwischen einem allgemeinen Betriebsingenieur und einem Instandhaltungsingenieur unterschieden.) Eine häufig auftretende Unklarheit ist das Identifizieren von Redundanzen in den Fließbildern. Denn dort sind aus Übersichtlichkeitsgründen oft nicht alle in der Anlage verbauten Assets eingezeichnet bzw. keine weiteren Informationen über den genauen Aufbau der Anlage vermerkt. So ist es dem meist „anlagenfremden“ Zuverlässigkeitsingenieur oft nicht möglich zu erkennen, dass sich hinter einem einzelnen Pumpensymbol im Fließbild häufig eine parallel und redundant ausgelegte Konstruktion mit 2 Pumpen in der Anlage verbirgt (s. Abbildung 2). In Bezug auf eine ordnungsgemäße Erstellung eines Zuverlässigkeitsdiagramms sind aber genau dies kritische Informationen, die entscheidend die Modellierung beeinflussen.

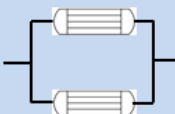
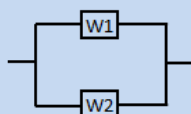
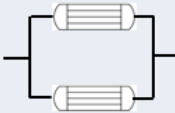

Topologie erkennen		
Anlage/Fließbild	m zu n Verhältnis	Zuverlässigkeitsmodell (RBD)
	1 zu 2 Redundanz	
	2 zu 2 Redundanz	

Abbildung 2: Vergleich der Topologie im Verfahrensfließbild und im Zuverlässigkeitsblockmodell

Um dies auszugleichen, sitzen dann Anlagen- und Zuverlässigkeitsexperten zusammen und klären manuell in oft mehrere Stunden dauernden Meetings den genauen Aufbau der Anlage. Diese redundante Arbeit könnte vermieden werden, wenn Planungsinformationen auch nach der Realisierung der Anlage verfügbar wären. Darüber hinaus würden solche Analysen wesentlich schneller erfolgen und dazu beitragen, die Zuverlässigkeit und die Energieeffizienz der Anlage zu optimieren.

Ein weiteres Anwendungsszenario für die Verfügbarkeit von Planungsinformationen zu jeder Lebenszyklusphase ergibt sich in Zusammenhang mit Stoffströmen und deren zugehörigen Rohrleitungen. In den verschiedenen Projektplanungsphasen definieren die Ingenieure zunächst, welche Stoffströme es in der Anlage geben wird, und konzipieren dann abhängig von den Stoffeigenschaften und anderen Betriebsbedingungen (wie Druck und Temperatur) die materielle Hülle (die Rohrleitungen) dieser Ströme. Dabei wird mit den Stoffströmen ein großer Teil eingesetzter Energie durch die Anlage transportiert, so dass Informationen zu den Stoffströmen auch einen wichtigen Baustein energetischer Analysen darstellen. Weitere wichtige Informationen können bezüglich der Rohrleitungen erhoben werden, so bilden geeignete Paarungen der Betriebsbedingungen (die dem thermodynamischen Zustand der Ströme entsprechen) einen wichtigen Faktor für Zuverlässigkeits- und Sicherheitsanalysen. So könnten ungeeignete Paarungen von Werkstoff und stofflicher Zusammensetzung des Produktes bestimmte Schadensmechanismen (etwa Korrosion) begünstigen. Die dadurch entstehenden Schäden ziehen zusätzliche, geplante oder ungeplante Wartungsarbeiten nach sich, für die die Anlage abzufahren ist. Der Vorgang des Ab- und Anfahrens ist wie bereits erwähnt ein wesentlicher Treiber für außerplanmäßigen Energieverbrauch.

Obwohl diese Informationen eine Grundlage für weitere Analysen bilden, kommt es immer wieder vor, dass aufgrund mangelnder Verfügbarkeit exakt diese Informationen individuell neu erarbeitet werden müssen. Ein typisches Beispiel hierfür wäre der Prozess, der nötig ist, um eine Änderungsvorlage für eine bestehende Anlage auf Wunsch des Kunden zu konzipieren (vgl. Abbildung 3:). Für den Prozess braucht man neben den Kunden und dem Ingenieur, der die Änderung entwickelt, weitere Experten. So wird, nachdem der Kunde seinen Wunsch geäußert hat, als erster Schritt ein Entwurf mithilfe eines CAE-Tools erarbeitet. Bevor daraus allerdings ein fertiger Änderungsvorschlag entsteht, der wieder vom Kunden bewertet wird, müssen noch verschiedene weitere Analysen durchgeführt und viele Aspekte berücksichtigt werden. Die hier betrachteten Aspekte sind die Zuverlässigkeit und die Sicherheit. Um diese auch weiterhin zu gewährleisten, werden Zuverlässigkeits- und Sicherheitsexperten hinzugezogen. Diese setzen sich dann mit dem ersten erfolgversprechenden Entwurf genauer auseinander und stellen mit Hilfe eines Betriebsingenieurs eine Liste aller Assets zusammen, die von diesem Änderungsentwurf betroffen sind. Diese gesamte Liste wird dann manuell kontrolliert, um beispielsweise sicherzustellen, dass durch neue Paarungen von Stoffströmen und Rohrleitungen keine Gefahr für die Sicherheit und die Zuverlässigkeit ausgeht. Je nachdem, ob nun der Änderungsentwurf ohne Bedenken hinsichtlich dieser Aspekte umgesetzt werden kann, müssen weitere Maßnahmen ergriffen werden. Gängige Maßnahmen sind entweder eine Anpassung der betroffenen Assets oder aber eine Überarbeitung des ursprünglichen Änderungsentwurfes.

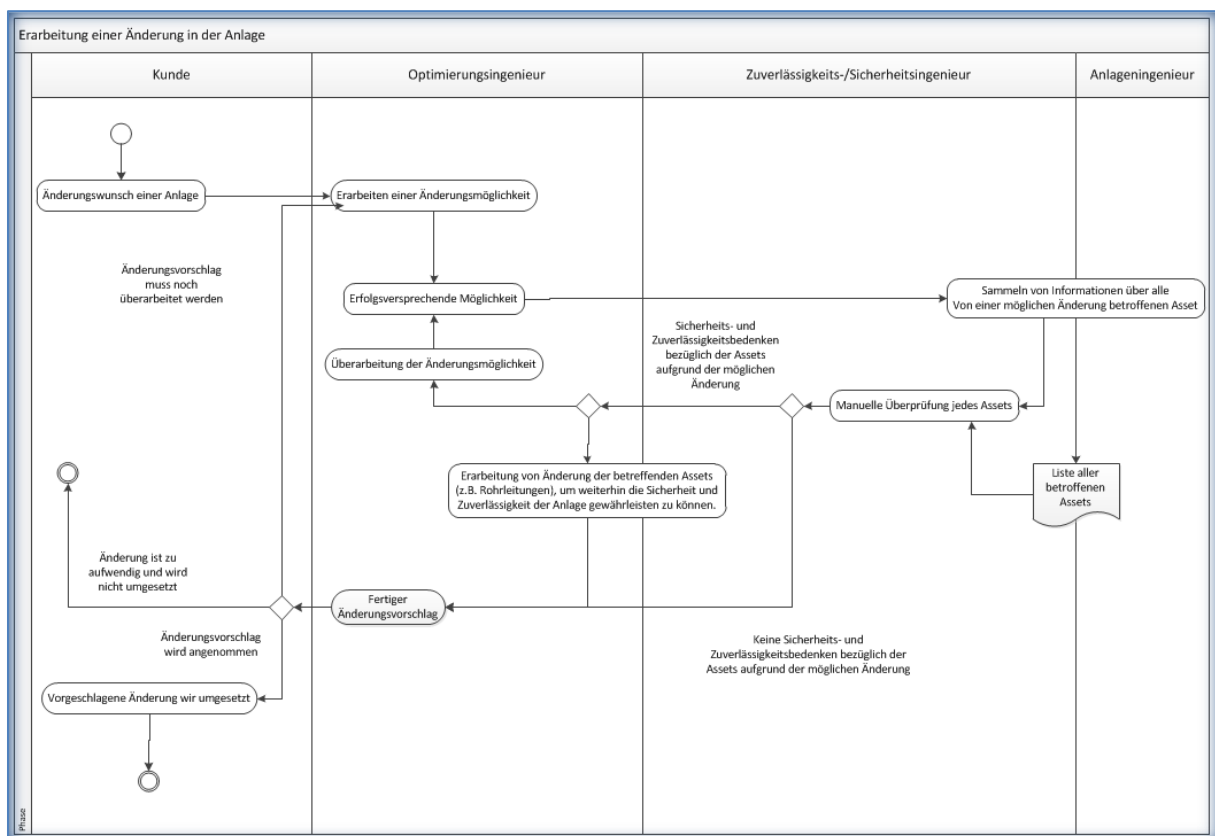


Abbildung 3: Änderungsprozess einer Anlage mit dem Fokus auf Zuverlässigkeit und Sicherheit

Dieser Prozess steht dabei repräsentativ für Prozesse, bei denen manuell eine Vielzahl von Informationen überprüft werden muss. Gerade solche Prozesse würden dabei von einer durchgehenden Datenintegration profitieren, da manuelle Arbeitsschritte automatisiert werden könnten. Neben einer Zeitersparnis bringt eine solche Verbesserung auch häufig eine Reduzierung von Fehlern mit sich.

Demensprechend würde man verschiedene Analysen in Verbindung mit der Energieeffizienz und Zuverlässigkeit optimieren.

2.3 Anwendungsszenario der Evonik

Die Evonik hat als Anwendungsszenario die Entwicklung eines Wärmeübertragers im Projektablauf gewählt.

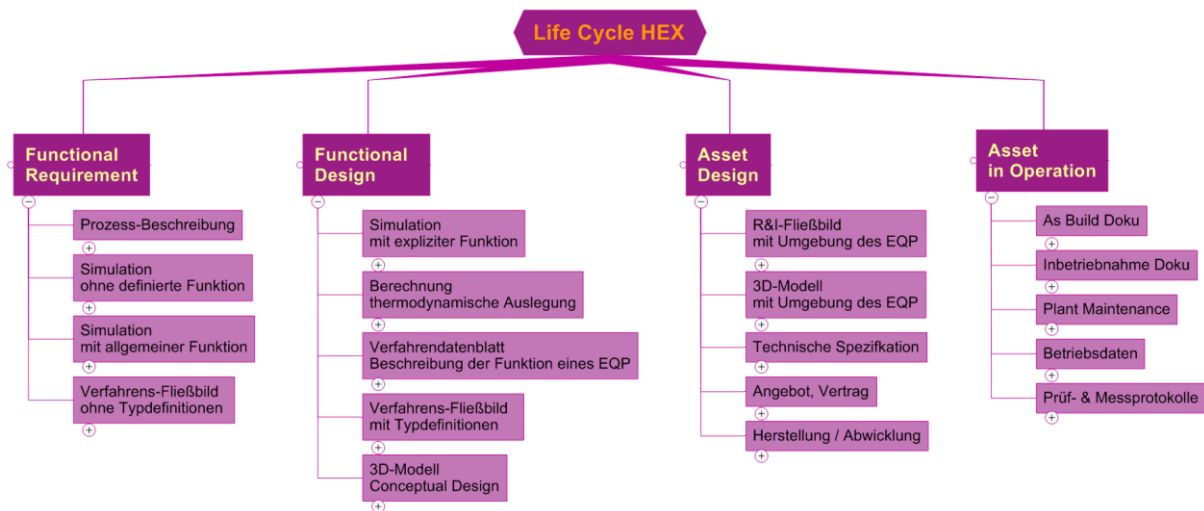


Abbildung 4: Phasen im Lebenszyklus

Zu den verschiedenen Phasen im Lebenszyklus (s. Abbildung 4) gehört eine unterschiedliche Ausprägungen der Informationen. Diese verändern sich sowohl in Tiefe und Breite z.B. kann eine Funktion „Strom X 300 kW entziehen“ in den *Functional Requirements* sich später in mehreren Stufen, das heißt mehreren Apparaten, darstellen lassen. Bestimmte Anforderungen, Attribute, etc. sind dabei identisch für alle Apparate (z.B. Sicherheitsanforderungen), andere verändern sich zwischen diesen (z.B. Zusammensetzung, Menge, Temperatur, Stoffdaten).

Über den Lebenszyklus verändert sich die Art der Darstellung der Informationen erheblich. So gibt es textliche, tabellarische, graphische und weitere komplexe Darstellungen der Informationen. Es gibt viele beschreibende Anforderungen, für die es wichtig ist, diese sauber auf die späteren Objekte referenzieren zu können.

Zu Beginn liegt eine Beschreibung der Prozessschritte, der Reaktionen und Parameter vor. Sie bildet die Grundlage für jede weitere Planung. Hier werden die Randbedingungen und Kriterien für die spätere Bewertung einer Umsetzung des Prozesses in einer Anlage festgelegt. Die Beschreibung erfolgt sowohl in textueller Form als durch eine Visualisierung in einem Fließbild (s. Abbildung 5).

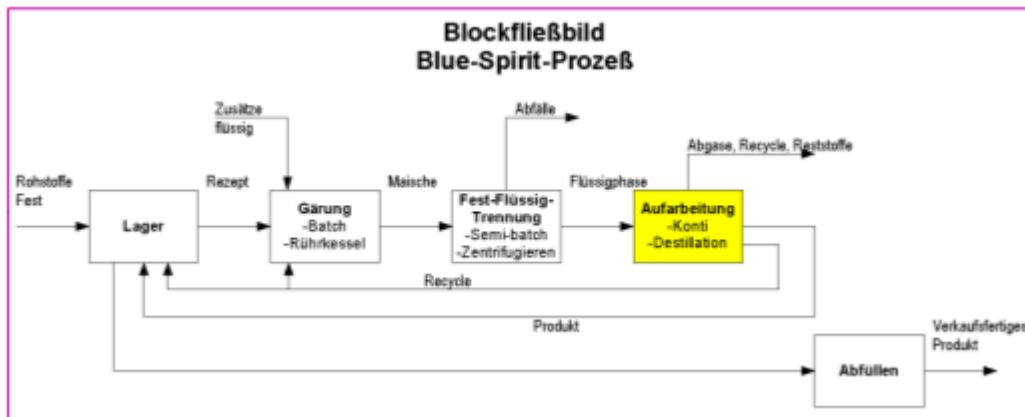
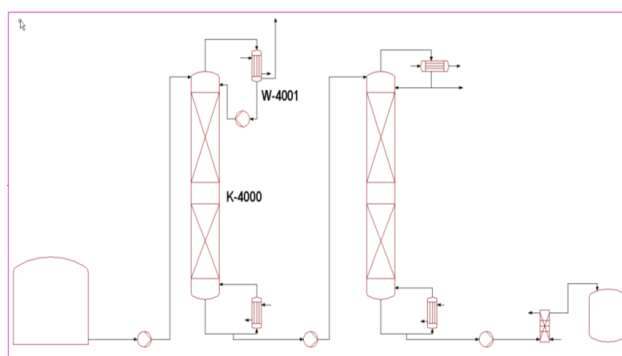


Abbildung 5: Blockfließbild



Heatx results:

	Inlet		Outlet	
Hot stream:	[HIN4001]		HOT 4001	
Temperature:	65,3970804	C	40,62	C
Pressure:	1	bar	1	bar
Vapor fraction:	1		0,09298454	
Cold stream:	[KIN4001]		KOT 4001	
Temperature:	25	C	28,5275632	C
Pressure:	3	bar	3	bar
Vapor fraction:	0		0	
Heat duty:	283,605092 kW			

Abbildung 6: Verfahrensfießbild und Simulationsdaten

Über die verschiedenen Entwicklungsstufen der Prozesssimulation, die jeweils unterschiedlichen Fokus und Detailtiefe haben, werden die funktionalen Anforderung an einen Apparat festgelegt (s. Abbildung 6). Später ergeben sich durch Einbeziehung aller Randbedingungen (baulich, fertigungstechnisch, sicherheitstechnisch, automatisierungstechnisch, ...) die Anforderungen an die Herstellung des Apparates und seine Integration in die verfahrenstechnische Anlage (s. Abbildung 7).

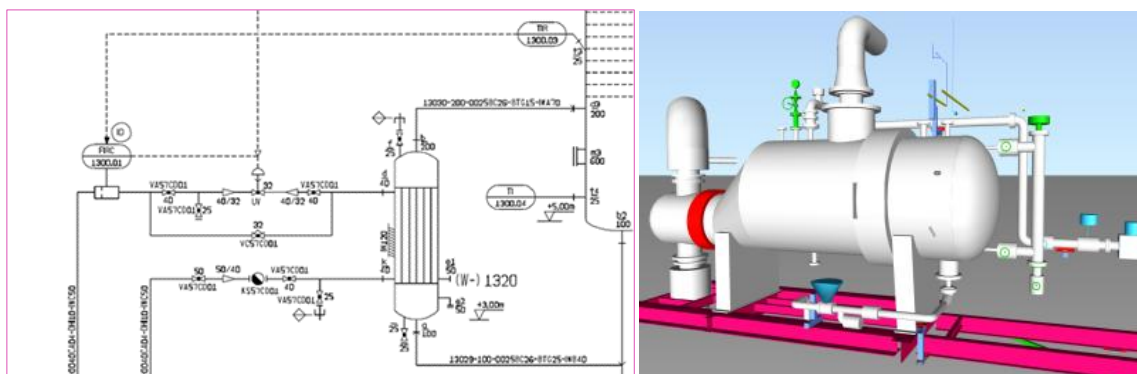


Abbildung 7: Rohrleitungs- und Instrumentenfließbild und 3D-Modell

Die vorgestellten Dokumente geben nur einen ersten Eindruck von der Komplexität der Anlagenplanung. Abbildung 8 zeigt den Ablauf bei der Vorplanung einer Prozessanlage auf einem höheren Detaillierungsgrad. Alle Schritte sind hier nur seriell dargestellt. Es ergeben sich jedoch aus jedem Schritt Randbedingungen für die Planungsarbeit, die eine Wiederholung vorheriger Schritte notwendig machen können. Um ein Beispiel zu nennen: Kann die Kühlleistung einer simulierten

Kühlaufgabe (2.15) nicht mit sinnvollen Apparaten dargestellt werden (2.18) oder lassen sich diese nicht in dem zur Verfügung stehenden Platz anordnen (2.19) so muss ggf. das Konzept der Betriebshilfsmittel (verschiedene Kühlmedien) überdacht und geändert werden. Dies hat natürlich Änderungen an vielen anderen Konzepten zur Folge.

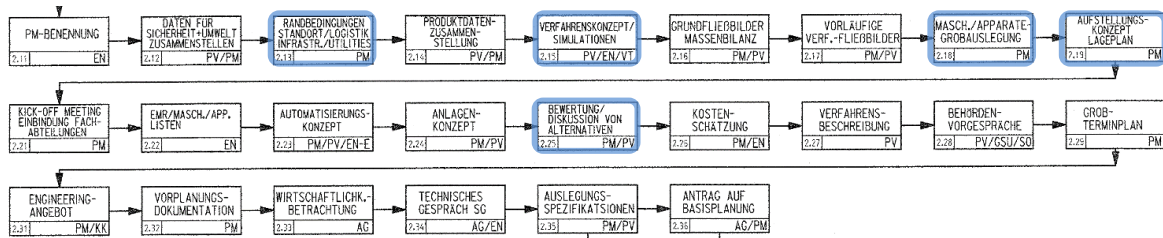


Abbildung 8: Schritte bei der Vorplanung einer Prozessanlage (vereinfacht)

Der Umgang mit diesen Veränderungen, der Zusammenhang von Vorgaben und Erfüllung, von Funktion und Eigenschaft sind die Schwerpunkte des Use-Cases für die Modellierung.

Im Ablauf einer Planung wird jedes Objekt mehrfach bearbeitet, jeweils mit dem Fokus auf einer anderen Fragestellung. Die Planung an einem Objekt ist in den frühen Phasen meist nicht direkt auf dieses Objekt fokussiert, sondern dient vor allem dazu, Randbedingungen und Anforderungen des Gesamtsystems zu prüfen und mögliche neue, durch dieses Objekt hinzukommende Anforderungen zu finden.

3 Anforderungen an Informationsmodelle

Informationsmodelle beschreiben, wie Informationen und damit der inhaltliche Sinn von Daten zu repräsentieren sind. Ein Informationsmodell für den Lebenszyklus verfahrenstechnischer Anlagen umfasst dementsprechend die relevanten Informationen, die von der Produkt- und Prozessentwicklung über den Anlagenbau bis hin zu Betrieb und Wartung anfallen.

Zentrale Anforderung an die Informationsmodelle ist die Unterstützung der **Datenintegration**. Datenintegration bedeutet in diesem Zusammenhang, Informationen aus verschiedenen Datenquellen zusammenzufassen. Datenintegration unterscheidet sich vom Datenaustausch, für den im Bereich der Prozess- und Anlagentechnik verschiedene Schnittstellen standardisiert sind oder weiter ausgearbeitet werden. Schnittstellen zum Datenaustausch sind eine Voraussetzung zur Datenintegration, aber nicht hinreichend. Es sind vielmehr Modelle erforderlich, die es erlauben, den gesamten für die Anwender relevanten Informationsgehalt der genutzten Quellen abzubilden. Bei der Integration konkreter Daten sind Inkonsistenzen zu erwarten. Beispielsweise können für dieselbe Rohrleitung in einem CAE-System und in einer separat geführten Rohrleitungsliste unterschiedliche Nenndurchmesser angegeben sein. Ein Informationsmodell muss zunächst in der Lage sein, diese Inkonsistenzen abzubilden. Desweiteren soll das Modell die **Konsolidierung** der Daten unterstützen, d.h., Inkonsistenzen sollen zuverlässig identifiziert werden können, und sie sollen gegebenenfalls durch Interaktion mit einem Anwender behoben werden können.

Die geforderte **Ausdrucksstärke** der Modelle ergibt sich zunächst aus den Anwendungsszenarien, die im vorhergehenden Abschnitt beschrieben werden. Eine wesentliche Anforderung ist die Fähigkeit, die Mereologie und Topologie der Objekte im Lebenszyklus darzustellen. **Mereologie** beschreibt die Beziehungen zwischen einem Ganzen und seinen Teilen. Derartige hierarchische Strukturen treten in allen Phasen des Lebenszyklus auf. Beispielsweise besteht eine Rohrleitung aus Segmenten, die wiederum einzelne Komponenten wie Armaturen enthalten. Die **Topologie** umfasst die Verknüpfung einzelner Objekte untereinander, beispielsweise die Verknüpfung von Prozessschritten in einer funktionalen Prozessbeschreibung oder die Verknüpfung realer Apparate mittels Rohrleitungen.

Das Informationsmodell muss **strukturelle Brüche der Mereologie und Topologie im Lebenszyklus** abbilden können. In den späteren Phasen des Lebenszyklus einer Anlage werden die anfallenden Informationen tendenziell komplexer. Insbesondere können mereologische und topologische Strukturen nicht in einfacher Weise 1:1 zwischen den Lebenszyklusphasen einander zugeordnet werden. Beispielsweise kann eine elementare Funktion wie die Entziehung von Wärme aus einem Strom durch eine Verschaltung mehrerer Wärmetauscher realisiert werden. Im Fall einer energieintegrierten Anlage, in der Wärmezufuhr und Kühlung in einem Wärmetauscher kombiniert werden, sind zwei unterschiedliche Funktionen in einem gemeinsamen Apparat realisiert.

Informationsmodelle müssen grundsätzlich **erweiterbar** sein. Existierende Instanzen der Modelle dürfen durch Erweiterungen nicht obsolet werden. Diese Anforderungen ergeben sich unter anderem daraus, dass im Rahmen dieses Projektes nur exemplarische Modelle ausdetailliert werden. Auch später in einem laufenden System kann sich die erforderliche Ausdrucksstärke ändern.

Usability der Modelle ist auf mehreren Ebenen sicherzustellen. Dies betrifft zunächst die Usability für Endnutzer, beispielsweise Ingenieure und Techniker bei Owner-Operators. Existierende Softwarewerkzeuge, beispielsweise CAE-Systeme, fokussieren auf einzelne oder wenige Aufgaben im Lebenszyklus einer Anlage und können deshalb nicht sämtliche Aspekte des Lebenszyklus-Modells

implementieren. Endnutzer werden deshalb spezielle Werkzeuge nutzen, die Zugriff auf die Informationen relevanter Instanzen der Modelle bieten und es erlauben, diese zu modifizieren und zu erweitern. Beispielsweise soll es möglich sein, zwischen den Objekten in verschiedenen Phasen im Lebenszyklus einer Anlage zu navigieren. Dazu müssen die Modelle eine Abstraktionsebene gemäß den etablierten Denkweisen und Begrifflichkeiten der Endnutzer bereitstellen.

Usability für IT-Experten ist Voraussetzung für die Realisierung von Software-Systemen zur praktischen Anwendung des Lebenszyklus-Modells. Es sind Schnittstellen erforderlich, mit denen existierende Werkzeuge auf Instanzen der Modelle zugreifen und diese ändern können. Diese Schnittstellen sollen auf denjenigen Paradigmen zur Datenmodellierung beruhen, die bei heutigen Anwendungswerkzeugen üblich sind, beispielsweise relationaler oder objektorientierter Modellierung.

Um die Anforderungen an die Usability erfüllen zu können, ist eine **Strukturierung** der Modelle erforderlich. Geeignete Ansätze dazu sind Ebenen, Module und Schablonen. **Ebenen** (Layer) bieten die Möglichkeit, Modellierungskonzepte auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen darzustellen. Es können zum Beispiel Informationsmodelle auf einer anwendungsnahen Ebene („Eine Pumpe zeichnet sich durch eine Förderleistung aus. Kreiselpumpe ist eine Spezialisierung von Pumpe.“) und auf einer abstrahierten Meta-Ebene („Eine Spezialisierung zeichnet sich durch alle Eigenschaften der allgemeineren Klasse aus.“) unterschieden werden. Innerhalb der Ebenen als auch ebenenübergreifend können Klassen und Relationen zu **Modulen** für bestimmte Anwendungszwecke zusammengefasst werden, beispielsweise zu einem Modul mit grundlegenden Konzepten und einem Modul für Apparate. **Schablonen** (Templates) beschreiben wiederkehrende Strukturen, etwa zur Abbildung mereologischer und topologischer Sachverhalten oder zur Darstellung konkreter Eigenschaften von Objekten („Pumpe P4711 ist Teil der Anlage XY321. Pumpe P4711 hat eine Förderleistung von 350 m³/h.“).

Die Semantik der Modelle muss tolerant gegenüber fehlenden Informationen sein (**„Open World“-Prinzip**). In einem laufenden System kann nicht davon ausgegangen werden, dass alle in den Modellen abgedeckten Aspekte tatsächlich in allen Instanzen der Modelle ausgeprägt sind. Anschaulich bedeutet dies, dass Informationen fehlen, etwa dadurch, dass Modelle nachträglich erweitert wurden oder bei der Instanzierung einige Informationen nicht zugänglich waren. Liegen in einer Instanz beispielsweise keine Informationen darüber vor, welche Funktion eine Pumpe in einer Anlage erfüllt, so darf offensichtlich nicht geschlossen werden, dass die Pumpe keine Funktion erfüllt.

In den Anwendungsszenarien der Industriepartner wird die Notwendigkeit deutlich, **verteilte Instanzen von Modellen** zu unterstützen. Zum Beispiel erfordert die Auswahl einer Pumpe mit einer vorgegebenen Förderleistung Informationen über die Förderleistungen verfügbarer Pumpen. Diese Informationen stammen üblicherweise nicht aus den Unternehmen, in denen die Pumpe auszuwählen ist (beispielsweise einem Owner-Operator oder Engineering-Dienstleister), sondern von den Herstellern der Pumpen. Gegenüber einem Ansatz, in dem alle Informationen in einer Modellinstanz bei einem Owner-Operator vorliegen, bieten verteilte Modellinstanzen eine Reihe von Vorteilen. Es könnten etwa aktuelle Preise und Lieferzeiten bereits bei der Anlagenentwicklung berücksichtigt werden.

Sicherheit und eine geeignete Verwaltung von **Nutzerrechten** sind in erster Linie eine Anforderung an Software-Systeme zur Implementierung und Nutzung der Modelle. Beispielsweise kann bei einer Implementierung in einem relationalen Datenbanksystem eine erste, allerdings in der Regel nicht

ausreichende Klassifizierung von Nutzerrechten dadurch erfolgen, Nutzern oder Gruppen bestimmte Rechte für bestimmte Tabellen einzuräumen. Bei einer graph-basierten Modellierungssprache (darunter fällt auch die ISO 15926) ist dies hingegen nicht möglich, da keine Strukturierung durch Tabellen vorliegt. Nutzerrechte müssen deshalb direkt abgebildet werden, beispielsweise durch die Vergabe von Rechten für Teilgraphen.

4 Weiterer Projektverlauf

Im weiteren Verlauf des Projektes werden Modelle erstellt, deren Scope den Bedürfnissen der Anwendungsszenarien in Abschnitt 0 entspricht und die die allgemeinen Anforderungen gemäß Abschnitt 0 erfüllen. Ergänzend werden auch Anwendungsbereiche aus den anderen Verbundprojekten der ENPRO-Initiative einbezogen.

Die Modelle dienen anschließend der Validierung der Projektergebnisse. Schwerpunkte sind dabei die Prüfung der formalen Korrektheit der Implementierung mittels der ISO 15926 als auch die Frage, ob die anwendungsseitigen Problemstellungen gelöst werden. Zu diesem Zweck werden exemplarisch in einer Fallstudie Simulationsmodelle und Rohrleitungs- und Instrumentendiagramme (R&Is) detailliert modelliert. Die Integration dieser beiden Dokumente erlaubt es, einzelne Ströme des Simulationsmodells einer oder mehreren Rohrleitungen des R&I zuzuordnen. Auf diese Weise ist es möglich, die Eignung einer Anlage für einen bestimmten Prozess automatisiert zu prüfen.