ZVEI
Die Elektroindustrie

White Paper

Modulbasierte Produktion in der Prozessindustrie – Auswirkungen auf die Automation im Umfeld von Industrie 4.0

Empfehlungen des AK Modulare Automation zur NE 148 der Namur

Fachverband Automation

Die Elektroindustrie

Impressum

Modulbasierte Produktion in der Prozessindustrie - Auswirkungen auf die Automation im Umfeld von Industrie 4.0

Herausgeber:
ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main

Telefon: +49 69 6302-451
Fax: +49 69 6302-319
E-Mail: automation@zvei.org
www.zvei.org

Verantwortlich:
ZVEI-Arbeitskreis Modulare Automation
Felix Seibl
Fachverband Automation
Fachbreich Messtechnik und Prozessautomatisierung

Redaktion:
Dieses White Paper wurde vom Arbeitskreis Modulare Automation im ZVEI-Fachverband Automation erstellt.
Es erfolgte ein regelmäßiger Austausch mit dem Namur AK 1.12. Der Teilnehmerkreis besteht aus Mitarbeitern folgender Mitgliedsfirmen: ABB, Emerson, Endress+Hauser, Festo, Hima, Honeywell, Jumo, Krohne, Pepperl+Fuchs, Phoenix Contact, PR Electronics, R. Stahl, Rockwell Automation, Samson, Schneider Electric/Invensys, Siemens, Softing, TU Dresden (Gast), Turck, Wago, Yokogawa.

Februar 2015

Trotz größtmöglicher Sorgfalt übernimmt der ZVEI keine Haftung für den Inhalt. Alle Rechte, insbesondere die zur Speicherung, Vervielfältigung und Verbreitung, sowie der Übersetzung sind vorbehalten.

Inhalt

1 Einleitung 5
1.1 Motivation 5
1.2 Die Herausforderungen aus der NE 148 5

2 Wirtschaftliches Potenzial und Märkte 6
2.1 Strategieoptionen durch modulbasierte Anlagen 6
2.2 Interviews mit Experten 6
2.3 Abschätzung des Marktvolumens 7
2.4 Geschäftsmodelle für Modulhersteller 8

3 Konzeptvorschlag der Systemanbieter 9
3.1 Motivation 9
3.2 Architekturentwurf 9
3.3 Modulare Automatisierung 10
3.3.1 State-based Control (zustandsabhängige Steuerung) 10
3.3.2 Vertikale Kommunikation & Integration 11
3.3.3 Modellierung von Zustandsmodellen 12
3.4 Zentrale HMI-Ebene 13
3.4.1 Bedienbilder 13
3.4.2 Halbintegration ins Leitsystem 13
3.4.3 Vollintegration ins Leitsystem 13
3.5 Durchgängigkeit der Bedienkonzepte 14

4 Engineering in der modularen Automation 15
4.1 Anlagenplanungsprozess im modularen Engineering 15
4.2 Modulengineering 16
4.2.1 Funktionale Strukturierung 16
4.2.2 Methodischer Ansatz 17
4.2.3 Engineering State-based Control 18

5 Anforderung an die Sensorik und Aktorik 19
5.1 Miniaturisierung von Feldgeräten 19
5.2 Baugrößen 19
5.3 Diagnoseanforderungen 19

6 Standards und Normen 21
6.1 Explosionsschutz 21
6.1.1 Schematischer Grundriss einer Produktionsanlage 21
6.1.2 Besonderheiten modulbasierter Anlagen 22
6.1.3 Explosionsschutz und modulbasierte Anlagen 22
6.2 Funktionale Sicherheit 25
6.2.1 Besonderheiten modulbasierter Anlagen 26
6.2.2 Funktionale Sicherheit und modulbasierte Anlagen 26
6.3 GAMP-Aspekte 27
6.3.1 Vereinfachung der Dokumentation 28
6.3.2 Anforderungen an die Dokumentation 28

7 Schlussbemerkung 29

8 Literaturverzeichnis 30

9 Anhang 31

1. Einleitung

1.1 Motivation

Das Thema Industrie 4.0 ist zurzeit in aller Munde. Dabei wird es vielfach mit ‚Factory Automation' in Verbindung gebracht. Doch auch für die verfahrenstechnischen Industrien und die Hersteller von Messtechnik und Prozessautomatisierung gewinnen Cyber Physical Systems, Digitalisierung, Vernetzung und damit neue Geschäftsmodelle an Bedeutung. Angetrieben von immer kürzer werdenden Produkteinführungszeiten entwickelt insbesondere die chemisch-pharmazeutische Industrie Modularisierungskonzepte für ihre Prozessanlagen. Neben verkürzten Produkteinführungszeiten und effizienterem Engineering der Verfahrenstechnik soll die Flexibilität der Prozessanlagen erheblich gesteigert[1] werden.

Während die Chemie- und Pharmaunternehmen das modulare Prozessdesign weiter vorantreiben, entsteht die Erwartung, die Automatisierungstechnik (AT) möge geeignete Unterstützung in ihren Prozessleitsystemen (PLS)[2] bereit stellen. Dies ist eines der Ergebnisse von mehreren Fallstudien, die zeigen, dass Modularisierung von Prozessen a) möglich und b) gewinnbringend für die chemische und pharmazeutische Industrie ist; z. B durch das öffentlich geförderte Projekt F3 Factory (flexible, fast, future)[3] im siebten Rahmenprogramm der EU.

Aktuelle Namur-Empfehlungen (NE) definieren die Anforderungen an die Automatisierung, um der Flexibilität der modularen Prozessanlage gerecht zu werden. Der Namur AK1.12 beschreibt in seiner NE 148[4] die Anforderungen an die AT-Hersteller, um die benötigte Funktionalität bereitzustellen.

Für den Chargenbetrieb werden modulare Ideen in einigen Anwendungsfällen bereits produktiv eingesetzt. Die NE 33[5] (Basis für die ISA 88) zeigt, wie man verfahrenstechnische Anlagen in Ebenen strukturieren kann, um die benötigte Flexibilität zu erhalten. Außerdem zeigen Studien von AT-Herstellern Vorteile einer modularen Automatisierungstechnik gegenüber einer konventionellen Automatisierung.[6]

2013 wurde im ZVEI-Fachbereich ‚Messtechnik und Prozessautomatisierung des Fachverbands Automation' der Arbeitskreis ‚Modulare Automation' gegründet mit der Zielsetzung, eng mit dem des Namur-Arbeitskreis AK1.12 zu kooperieren und eine gemeinsame Antwort der Arbeitskreismitglieder auf die NE 148 zu formulieren.

Im Laufe der Arbeit des Arbeitskreises hat es sich als zielführend herausgestellt, den Diskussionsstand für weitere Gespräche mit der Namur in einem Papier festzuhalten. Das vorgelegte Dokument fokussiert sich auf Leittechnik und Instrumentierung. Vordefinierte standardisierte elektromechanische Module für Anlagenbau werden vorausgesetzt.

1.2 Die Herausforderungen aus der NE 148

Die NE 148 stellt im Kern die Hypothese auf, dass die Architektur von heutigen Leitsystemen für den Einsatz von Modulen wenig geeignet ist und formuliert eine Reihe von Anforderungen, um deren notwendige Integration zu ermöglichen.

Insbesondere die Forderung nach standardisierten herstellerunabhängigen Schnittstellen verlangt die Zusammenarbeit aller Hersteller. Dieses Papier möchte die verschiedenen Anforderungen, Antworten und Perspektiven formulieren. Es möchte aber auch technische oder wirtschaftliche Grenzen seitens der Hersteller aufzeigen.

Es sei betont, dass dieses Papier einen Arbeitsstand darstellt, der zur Diskussion mit dem Namur AK1.12 dient. Dieses Papier erhebt weder Anspruch auf Vollständigkeit noch ist die Diskussion mit der Namur in Gänze abgeschlossen.

2 Wirtschaftliches Potenzial und Märkte

Die Abschätzung des wirtschaftlichen Potenzials erfolgt auf drei Wegen:

- SWOT-Analyse zur Strategiebewertung (siehe Anhang)
- Interviews mit Experten (Kapitel 2.2)
- Abschätzung des Marktvolumens auf Basis von Zahlen des VCI (Kapitel 2.3)

Die Ansätze liefern fundierte Schätzungen, können aber keinerlei Garantien bieten, da die tatsächliche Marktentwicklung von einer Reihe Faktoren abhängt, die nicht alle ausreichend erfasst werden können. Die gemachten Schätzungen sind zu verifizieren unter Einbeziehung der unterschiedlichen Interessensgruppen von Lieferanten, Integratoren und Endbetreibern, um die wirtschaftliche Bedeutung von modularem Anlagenbau zu belegen.

2.1 Strategieoptionen durch modulbasierte Anlagen

Um das wirtschaftliche Potenzial abzuschätzen, wird der Frage nachgegangen, wem und in welchem Maße die neue Technologie nützt.

Um den strategischen Nutzen von modularem Anlagenbau besser einschätzen zu können, wurde versucht, eine SWOT-Analyse eines typischen Marktteilnehmers in der Feinchemie und pharmazeutischen Industrie zu erstellen (siehe Anhang).

2.2 Interviews mit Experten

Die geführten Interviews sind in der Struktur sehr ähnlich. Es wurden die gleichen oder zumindest sehr ähnliche Fragen gestellt, um eine Vergleichbarkeit der Gespräche zu gewährleisten.

Die angesprochenen Firmen bzw. deren Repräsentanten sind unterschiedliche Stakeholder im Geschäftsfeld modulbasierter Anlagen bzw. ihrer Automation. Ihr Geschäftsmodell beeinflusst primär auch ihre Erwartung und Hoffnung in Bezug auf den neuen Markt.

Die bisherigen Gesprächspartner können zwei Gruppen zugeordnet werden. Es wurden Gespräche sowohl mit Herstellern bzw. Betreibern von chemischen/pharmazeutischen Anlagen als auch mit Trägern von Know-how über modulbasierte Anlagen geführt; das Know-how bezieht sich primär auf Planung und Detailplanung solcher Anlagen. Zielsetzung der Gespräche war es, eine Markteinschätzung aus der Sicht von Entscheidern unterschiedlicher Segmente in der Prozessindustrie zu erhalten. Die Expertenmeinungen zeigen, inwieweit die neuen Ideen in der operativen Praxis angekommen sind und bilden, begleitend zu den oben gemachten Analysen, einen weiteren Puzzlestein, mit dessen Hilfe sich ein aufschlussreiches Gesamtbild formt. (Zusammenfassung Tab. 1)

Die Fragen wurden nicht wortwörtlich vorformuliert, sondern der Situation angepasst in das Gespräch eingebracht. Sie lassen sich in der Tendenz etwa so formulieren:

1) In welchen Segmenten der Industrie kommt der Einsatz von modulbasierten Produktionsanlagen am ehesten infrage? Welche Produktgruppen fallen z. B. darunter?
2) Wie viel Prozent der unter 1) genannten Anlagen würden sinnvollerweise überhaupt auf modulbasierte Produktionsanlagen umgestellt? In welchem Zeithorizont soll das geschehen? Gibt es konkrete Pläne?
3) Wie sehen Sie die Auswirkungen einer Umstellung der Produktion für die Automation/Prozessautomation? Welche Trends und Veränderungen am Markt sind damit verbunden?
4) Welche Erfahrungen wurden bisher mit der Modularisierung gemacht (in Deutschland und darüber hinaus)? Wie sieht man das Thema ‚modulbasierte Anlagen' bei Betreibern/Produzenten außerhalb des Namur AK 1.12?

Tab. 1: Kernaussagen der Interviewpartner

I) Gruppe Planer
Der Markt wird als Wachstumsmarkt klassifiziert. Es gibt einige konkrete Projekte und einen Bedarf an mehr (Market-Push – keine Nachfragesituation).
Es wird kein rasches (exponentielles) Wachstum erwartet. Das ‚Mindset' für modulare Planung ist bereits etabliert.
Für die Feinchemie wird ein großes Potenzial gesehen: 10–30 % der Anlagen könnten modulbasiert aufgebaut sein.
Konzepte für die Automation werden abseits des AK 1.12 ebenfalls als offene Fragen gesehen, die noch nicht umfassend gelöst wurden.
Konkrete Vorstellungen für die Systematisierung des Engineerings existieren.
Kritische Fragen beziehen sich noch auf Inline-Analytik und Chargenkonsistenz.
Batchprozesse wird es immer geben und diese werden auch immer modularisiert werden.

II) Gruppe Hersteller/Betreiber
Prozessintensivierung steht ebenso im Fokus wie die Modularisierung verfahrenstechnischer Funktionen.
Man setzt auf den Übergang von Batchprozessen hin zu Kontiprozessen, weil so eine gleichbleibende Qualität zuverlässiger gewährleistet werden kann.
Bestehende Assets werden nicht durch modulare Anlagen abgelöst werden. Lediglich neue Produkte werden mit neuer Technologie produziert.
Unklar ist, ob der Durchbruch bei modulbasierten Anlagen dieses Mal erreicht werden kann. Gegenwärtig erleben wir die zweite oder dritte Welle.
Mobilität der Anlagen ist durchaus ein gefordertes und attraktives Feature.
Trend: ‚Warum messen wir Druck und Temperatur? Das interessiert uns nicht. Produkt- und Stoffeigenschaften sind interessant.'
Reife der Technologie ist entscheidend für die Realisierung der Wettbewerbsvorteile.
Außerhalb der Namur Gremien gibt es durchaus Kritiker der modulbasierten Anlagen (in der Prozessindustrie). Sie werden nicht selten als Vertreter eines alten Konzepts angesehen, das nie tragfähig wurde.

Ein Gespräch vermittelt den individuellen Einblick eines Marktteilnehmers. Weitere Gespräche sind in Planung. Um von den Gesprächen allgemeingültigere Aussagen ableiten zu können, müsste eine repräsentative Anzahl von Marktteilnehmern befragt werden.

Das bedeutet nicht, dass sich generell keine allgemeinen Aussagen ableiten ließen. Einige Einschätzungen sind nicht unternehmensspezifisch, sondern betreffen die gesamte Branche.

2.3 Abschätzung des Marktvolumens

Zur Abschätzung des Marktvolumens für modulbasierte Anlagen ist nur eine sehr kleine Datenbasis verfügbar. Es gibt keinerlei (öffentliche) Schätzungen von den Unternehmen, die durch die Mitglieder des Namur AK 1.12 vertreten sind.

Das in diesem Dokument beschriebene Modularisierungskonzept basiert auf der NE 148. Daher wurden die Umsatzzahlen der Branche

Tab. 2: Abschätzung des Marktvolumens für Automation bei modularer Produktion

Jahr	[Mio. €]			
	Umsatz Chemisch-pharmazeutische Industrie	Investitions-rate	Modular	Automation
2012	186.830	6,50 %	25 %	3 %
		12.144	3.036	**91**
2022 Inflations-bereinigt	227.746	6,50 %	25 %	6 %
		14.803	3.701	**222**

Quelle: http://publikationen.vci.de/publikationen/CHIZ-2013/blaetterkatalog/

chemisch-pharmazeutische Industrie zur Abschätzung des Marktvolumens herangezogen. Die Daten sind dem VCI-Report[11] entnommen.

Die Kalkulation geht von einer zweiprozentigen Inflationsbereinigung aus, sodass von einem Gesamtumsatz deutscher Firmen in diesen Branchen von ca. 228 Mrd. € im Jahr 2022 ausgegangen wird.

Die Berechnung des Zielkorridors beruht auf einer durchschnittlichen Investitionsrate von 6,5 Prozent und auf der Annahme, dass in zehn Jahren ca. 25 Prozent der Prozessanlagen in diesen Branchen modular gebaut werden (Schätzungen aus Interviews). Ein typischer Anteil der Automation an der Investition macht heute ca. drei Prozent aus. Für modulbasierte Anlagen verschiebt sich in der Zukunft der Anteil der Automation. Wir nehmen einen Automatisierungsanteil von durchschnittlich sechs Prozent bei durchschnittlich 25 Prozent modular automatisierter Anlagen an, so dass das Marktvolumen auf ca. 222 Mio. € geschätzt wird. (Nach einer ARC-Studie 2013 lässt sich der gesamte globale PLS-Markt mit 11.600 Mio. € beziffern, davon mit 2.200 Mio. € allein die Chemie).

Abschließende Bemerkungen zur Abschätzung des Marktvolumens

Sollten sich modulbasierte, standardisierte Anlagen etablieren, so wäre ein schnelleres Wachstum zu erwarten, weil der Ansatz große Kostenersparnisse und Produktivitätsgewinne verspricht, falls die Konzepte erfolgreich umgesetzt werden können.

Innerhalb der Produktion bestehender bzw. neuer Produkte wird modulbasierte Technik teilweise konventionelle Technik ersetzen. Die neue Technologie kann aber auch einen neuen Typus von Produkten schaffen und völlig neue Märkte erschließen (z. B. personalisierte Medikamente). Diese denkbaren Entwicklungen sind nicht in der Abschätzung enthalten. **Der Markt für modulare Automation wird somit innerhalb und außerhalb der Namur-Firmen gesehen und entwickelt sich.***

Wichtiger als das Investitionsvolumen mag die Entschlossenheit der Unternehmen sein, die vorgestellten Konzepte auch zu verwirklichen. Interviews mit Experten der Prozessindustrie können eine Momentaufnahme der Diskussion abbilden, wie das nachfolgende Kapitel zeigt.

2.4 Geschäftsmodelle für Modulhersteller

Durch die Modularisierung und die mit ihr einhergehende Standardisierung kommt es zu Verschiebungen in der Wertschöpfungskette. Die Verantwortlichkeiten beim Bau einer Anlage werden anders verteilt. Die Aufgabenverteilung zwischen Betreibern, Modulherstellern und Systemlieferanten ist folglich neu zu definieren und zu klären.

Der Arbeitskreis hat aufgrund dieser Verschiebung beschlossen, auch verstärkt das Gespräch mit Modulherstellern zu suchen.

* siehe Thesenzusammenfassung im Anhang 9.5

3 Konzeptvorschlag der Systemanbieter

3.1 Motivation

Basierend auf den erwähnten Veröffentlichungen und den ISA-Standards ISA 88[7], ISA 95 und ISA 106[8] wird in diesem Papier ein Konzept für die modulare Automatisierungstechnik vorgestellt, das die benötigte Flexibilität für modulare Anlagen mitbringt. Es wird beabsichtigt, sowohl die kontinuierliche als auch die chargenorientierte Fahrweise zu unterstützen. **Modulare Automation verringert durch Kapselung der verfahrenstechnischen Funktionen die Komplexität in Engineering, Inbetriebnahme und Instandhaltung.***

3.2 Architekturentwurf

(Anforderungen NE 148, Kap. 3: Anforderungen an die Automatisierungsstrukturen)

In der NE 148 (darin in Abbildung 6)[4] wird eine Architektur für die Automatisierungstechnik vorgeschlagen (Abbildung 1). Die Architektur beschreibt zwei Modularten und deren Ankopplung an das PLS:

Variante A: Das Modul wird mittels einer kleinen Steuerung zur Abarbeitung der benötigten Modullogik automatisiert. In der Steuerung läuft nur die Logik des Moduls und nur die benötigten Werte werden mit dem PLS ausgetauscht.

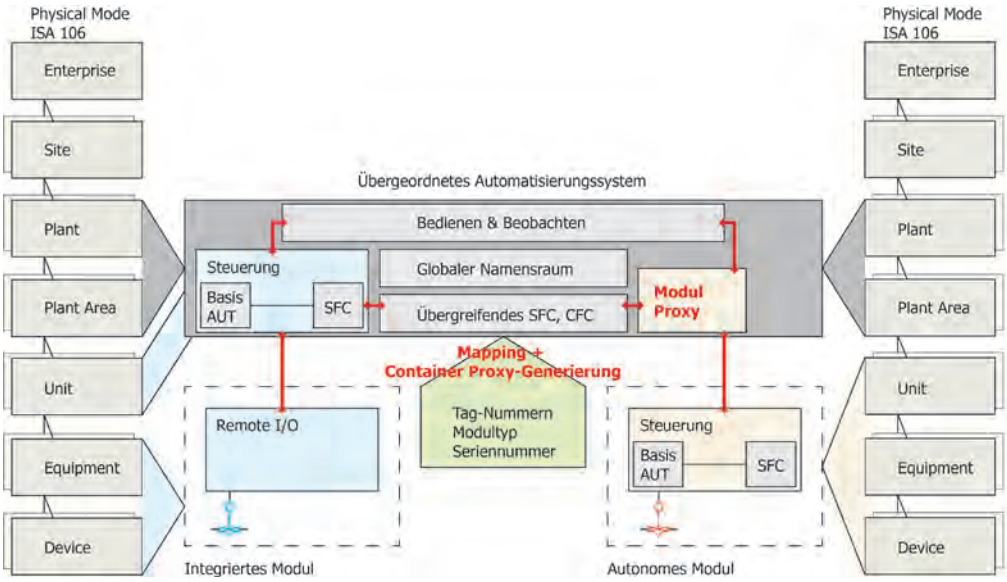
Variante B: Die Module verwenden lediglich E/A-Baugruppen und das PLS führt die AT-Logik aus.

Diese Architektur lässt sich auf das physikalische Modell, beschrieben in der ISA 106[8], abbilden. Obwohl das physikalische Modell der ISA 106 detaillierter ist als die in der NE 148 beschriebene Architektur, passen beide Modelle gut zusammen (siehe Anhang 9.4 ISA 88/95/106).

Nach ISA 106 wird das Equipment aus Geräten (Devices) zusammengesetzt und bildet ein durch E/A-Baugruppen (Variante B) automatisiertes Modul. Diese sind verhältnismäßig klein, sodass die benötigte AT-Logik, verglichen mit größeren Modulen, einfacher ist (siehe Abb. 1).

Variante A ist vergleichbar mit den nach ISA 106 definierten Units. Eine Unit setzt sich üblicherweise aus Equipment und Geräten zusammen und bildet hierdurch größere Module ab. Deshalb wird eine komplexere Automatisierungslogik benötigt und damit eine dedizierte Steuerung, um eine zuverlässige Automatisierung sicherzustellen.

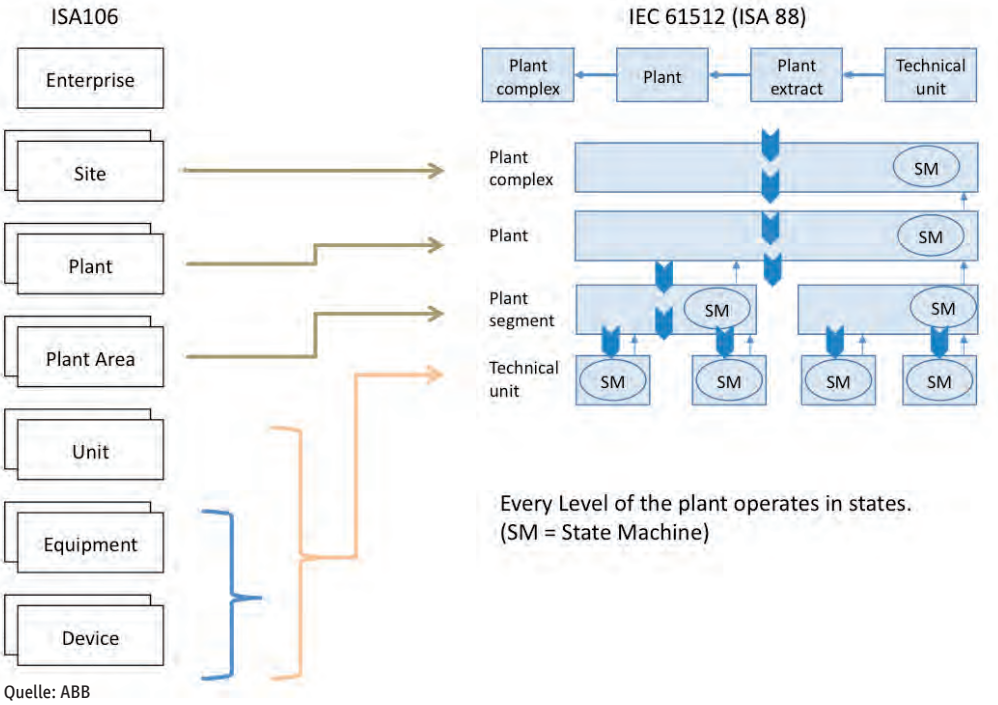
Abb. 1: Abbildung physikalisches Modell (ISA 106) auf NE 148



Quelle: NE 148, ZVEI AK Modulare Automation

* siehe Thesenzusammenfassung im Anhang 9.5

Abb. 2: Abbildung physikalisches Model ISA 106 auf IEC 61512 (ISA 88)



Quelle: ABB

Das eigentliche Leitsystem nach NE 148 wird in der ISA 106 durch die Objekte Plant Area, Plant und Site beschrieben. Eine Plant Area ist normalerweise so groß, dass zumindest ein SCADA-System (Supervisory Control and Data Acquisition) zur Steuerung benötigt wird. Site beschreibt die komplette Produktivanlage, weshalb hier ein PLS zur zuverlässigen Steuerung eingesetzt wird (siehe Abb. 1).

Das zuvor beschriebene Modell lässt sich auch auf eine chargenorientierte Fahrweise anwenden, da es mit der ISA 88[7] (NE 33[5]) kompatibel ist. Abbildung 2 zeigt die Darstellung des physikalischen Modells nach ISA 106 auf das nach ISA 88 (IEC 61512) beschriebene Modell.

Das Modell nach ISA 106 lässt sich auf die Anforderungen der NE 148 abbilden. Deshalb wird vorgeschlagen, die Struktur nach ISA 106 für das modulare AT-System zu verwenden.

3.3 Modulare Automatisierung

(Anforderungen NE 148, Kap 3.1: Automatisieren eines Moduls)

Eine weitere Frage ist die Automatisierung der Module selbst. Neben der benötigten AT-Hardware (Variante A: kleine Steuerungen, Variante B: E/A-Baugruppen) sind die AT-Funktionen von besonderer Wichtigkeit, da sie nahtlos in das übergeordnete PLS integriert werden müssen und zusätzlich eine Verbindung zwischen den Modulen hergestellt werden soll.

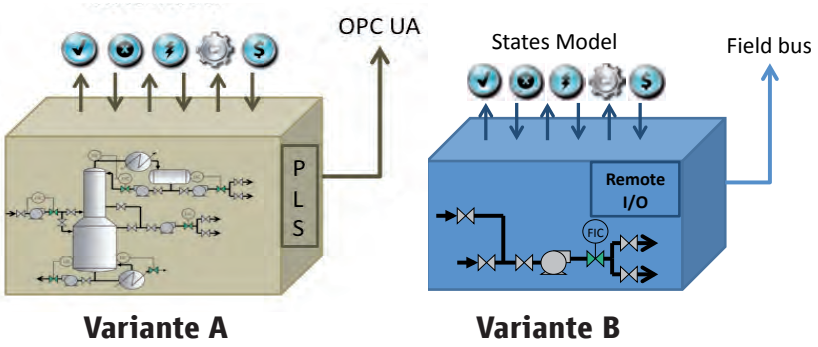
Die Kommunikation zwischen den Modulen untereinander und dem übergeordneten PLS kann mittels IEC-ethernetbasierter Protokolle oder genormter Feldbusse erfolgen (siehe Abb. 3). Das Steuerungs- und Integrationskonzept, das in diesem Papier beschrieben wird, ist auf beide Kommunikationsvarianten gleichermaßen anwendbar.

3.3.1 State-based Control (zustandsabhängige Steuerung)

Das Steuerungskonzept basiert auf einer zustandsabhängigen Beschreibung und einem zustandsabhängigen Betrieb der Module. Jeder Modultyp stellt eine Beschreibung seiner Zustände bereit. Das Zustandsmodell ist im gesamten System öffentlich zugänglich und wird als einzige Schnittstelle zur logischen Verbindung zwischen den Modulen verwendet.

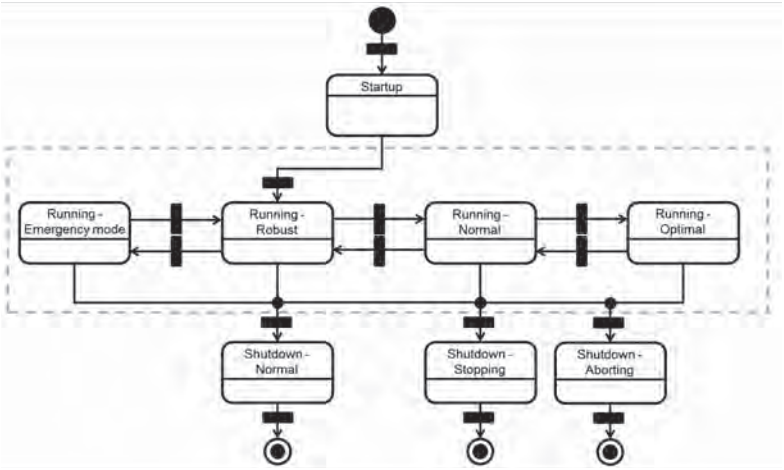
Die interne AT-Logik (wie z. B. Verriegelungen oder Regelungen) wird für jeden Modultyp separat entwickelt und über öffentliche Schnittstellen angesteuert.

Abb. 3: Schnittstellen der Modulvarianten



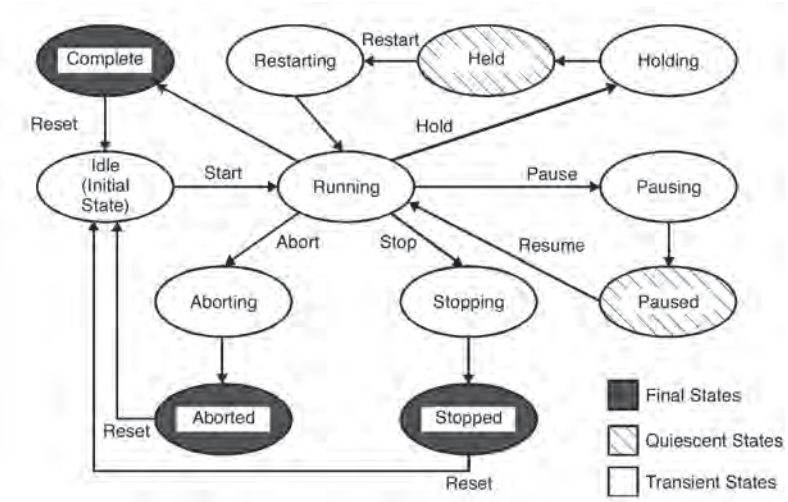
Quelle: ABB

Abb. 4: Automation einer Destillationskolonne



Quelle: ABB

Abb. 5: Starres Zustandsmodell nach ISA 88[7]



Quelle: ANSI/ISA–88.01–1995 - Formerly ANSI/ISA–S88.01–1995
Batch Control Part 1: Models and Terminology
ISBN: 1-55617-562-0

Zur Datenkapselung werden objektorientierte Ansätze verwendet, um a) unnötige Komplexität der Module dem Ingenieur zu verbergen und b) Know-how-Schutz für den Modullieferanten zu gewährleisten. Als Beispiel wird in Abbildung 4 der Automat (respektive das Zustandsmodell) einer Destillationskolonne dargestellt.

Das Konzept ‚State-based Control' passt sowohl zur ISA 106 für kontinuierliche Fahrweise als auch zur ISA 88 für chargenorientierte Fahrweise. Während die ISA 88 ein starres Zustandsmodell für den Chargenbetrieb definiert (beispielhaft in Abbildung 5 dargestellt), definiert die ISA 106 ein variables Zustandsmodell, das der Anwender frei gestalten kann. Ein Beispiel ist in Abbildung 6 dargestellt. Deshalb passt ‚State-based Control' zu beiden Normen.

3.3.2 Vertikale Kommunikation und Integration

Die vertikale Kommunikation bezeichnet die Kommunikation zwischen den Modulen und dem PLS. Zusätzlich müssen die verwendeten Module in die Umgebung des PLS integriert werden, weshalb hierfür ebenfalls eine Kommunikation benötigt wird.

Diese Kommunikation kann durch IEC-ethernetbasierte Protokolle oder genormte Feldbusse realisiert werden.

Zusätzlich könnten die Module der Variante A eine OPC-UA-Schnittstelle (über den Feldbus) benutzen, um Prozesswerte zum PLS zu kommunizieren (siehe Abb. 7). Das Zustandsmodell jedes Modultyps wird vom PLS konsumiert und hierdurch in das PLS integriert, um die Modulinstanzen später zu erkennen und zu integrieren.

Zur Beschreibung der Module und den Zugriff auf die Module stehen Technologien wie zum Beispiel FDI zur Verfügung. Ihre Eignung zur Modulintegration ist noch im Detail zu prüfen.

Da das Zustandsmodell die Fähigkeiten des Moduls – abstrakt betrachtet – abbildet, kann eine Steuerung einzig über Zustandsübergangsanforderungen durch das PLS oder anderer Module geschehen. Zustandsübergänge werden jedoch innerhalb des Moduls durch seine AT-Logik selbst gesteuert. **Die modulare Automation vereinheitlicht die Schnittstellen zwischen Leitebene und Modul.***

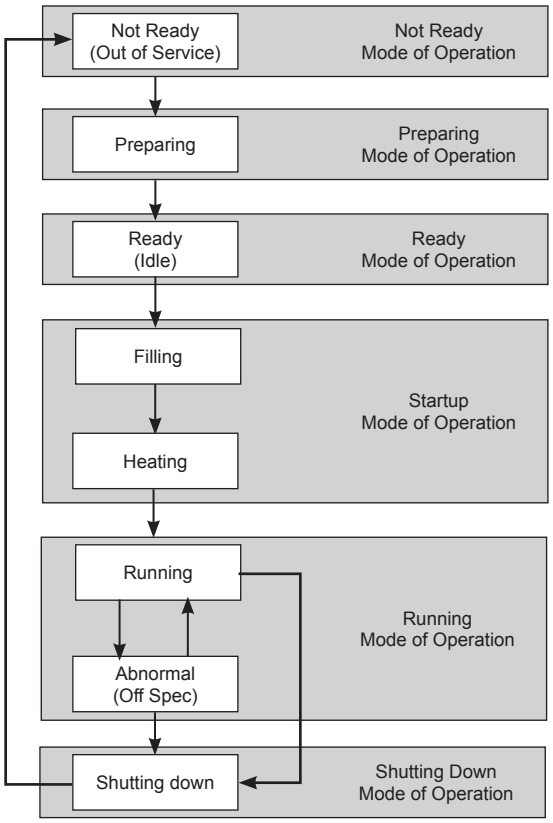
3.3.3 Modellierung von Zustandsmodellen

Zustandsmodelle, als Kommunikationsschnittstelle zwischen Modulen und dem PLS, können mittels Methoden aus dem heutigen Stand der Technik modelliert werden:

1. Möglichkeit eins ist die Modellierung von SFC mittels einer extended Cause & Effect (xC&E)-Matrix. SFCs können als xC&E abgebildet werden, wobei geeignete grafische Werkzeuge die Modellierung der SFCs als xC&E erheblich vereinfachen. Die SFCs stellen bereits Zustandsmodelle dar bzw. können automatisch als solche übersetzt werden, wodurch diese Zustandsmodelle ohne weitere Schritte direkt auf einer Steuerung ausgeführt werden können. Zur Modellierung von Variante B sollte diese Methode bevorzugt werden.

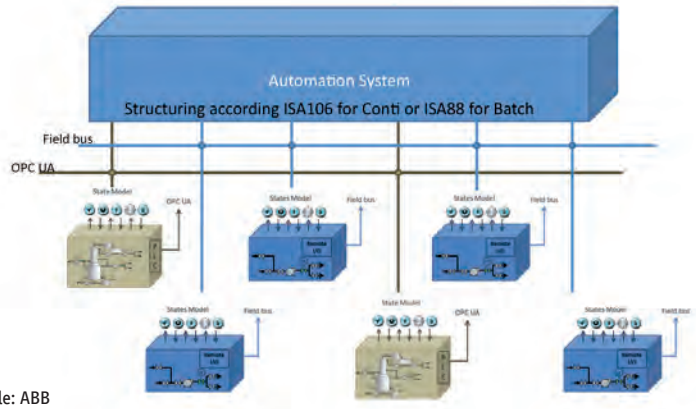
2. Die SFCs können natürlich in herkömmlicher Art und Weise unter Verwendung der aktuellen Editoren modelliert werden. Diese Methodik ist für Variante A zu bevorzugen, da der Zwischenschritt der xC&E-Matrix in diesem Fall nicht benötigt wird. Beide Modellierungsarten sind a) als Vorschläge zu betrachten und können b) je nach Modultyp variieren. Während für Modulvariante B die Methodik xC&E bevorzugt werden sollte, können für Modulvariante A beide Methoden gleichermaßen eingesetzt werden.

Abb. 6: Beispiel eines selbst-definierten Zustandsmodells nach ISA 106[8]



Quelle: ISA 106 / Technical Report
ISA-TR106.00.01-2013 Procedure Automation for Continuous Process Operations – Models and Terminology
ISBN: 978-0-876640-38-8

Abb. 7: Physikalische & logische Integration der Module ins PLS



Quelle: ABB

* siehe Thesenzusammenfassung im Anhang 9.5

3.4 Zentrale HMI-Ebene

(Anforderung NE 148, Kap. 3.2.2: Bedienung & Beobachtung)

3.4.1 Bedienbilder

Neben den AT-Funktionen werden Bedienbilder benötigt, um a) einzelne Module manuell zu steuern und b) deren Grafiken später in den Bedienbildschirm zu integrieren. Der Modulhersteller ermöglicht über entsprechende Parametrierbilder die Parametrierung der Module.

Bei der Integration der Visualisierungsdaten sind verschiedene Ebenen zu unterscheiden

3.4.2 Halbintegration ins Leitsystem

Bei einer Halbintegration liefert das Modul eine standardisierte Beschreibung seines Interfaces auf den Ebenen 1 bis 3. Zu Engineeringzwecken muss diese Beschreibung unabhängig von der physisch vorhandenen Automatisierung des Moduls zur Verfügung stehen, z. B. in Form einer Beschreibungsdatei. Die Modulbeschreibung wird im Engineering des Leitsystems dazu benutzt, die entsprechenden Alarme, Variablen etc. anzulegen, damit dort die eigentlich grafische Darstellung des Moduls projektiert werden kann (deshalb Halbintegration).

Die grafische Projektierung im übergeordneten Leitsystem stellt sicher, dass die Durchgängigkeit der Darstellung und auch weitgehend der Bedienphilosophie gewährleistet ist (mit Ausnahme Ebene 6). Die Integration auf den Ebenen 4 und 5 findet also durch manuelles Engineering statt.

Ob damit auch eine Datenintegration auf Ebene 6 erreicht werden kann, hängt vom Einzelfall ab. Modulhersteller sollten daher auf eine hohe Abhängigkeit zwischen der Logik des HMI und Controllerprojektierung verzichten.

Die Modulbeschreibung sollte auch alle Daten enthalten, damit das übergeordnete Leitsystem zur Laufzeit auf das entsprechende Interface der Modulautomation zugreifen kann.

3.4.3 Vollintegration ins Leitsystem

Im Gegensatz zur Halbintegration versucht die Vollintegration auch das Projektieren der Ebenen 4 und 5 zu automatisieren. Hierzu muss die Modulbeschreibung auch für die Ebenen 4 und 5 eine entsprechende Beschreibung liefern. Hierzu sind prinzipiell zwei Wege denkbar:

Tab. 3: Ebenen der Visualisierungsdaten

	Ebene	Beschreibung
1	Datenformate	Real, Bool etc
2	Datentypen	Alarme, Messwerte, Stati, Kommandos etc
3	Datensemantik	Handbetrieb, Autobetrieb, Temperaturmessung am Eingang etc
4	Datendarstellung	Numerisch, Balken, Kurve, Button
5	Aggregierte Darstellung von Daten	Faceplates, komplexe Diagramme etc
6	Funktionale Integration von Daten	Controllerbaustein und Logik des HMI sind stark ineinander verschränkt. HMI Funktionalität kann nur durch gemeinsamen Einsatz von HMI und Controllerbausteinen erreicht werden

1. Die Modulbeschreibung liefert die tatsächliche grafische Darstellung des Moduls.

Die Bedienbilder der Module müssen in einem herstellerunabhängigen und neutralen Format geliefert werden. Das AT-System benutzt normalerweise eine systemeigene Darstellung der Bedienbilder und stellt diese in einem proprietären Format zur Verfügung, weshalb hier eine herstellerneutrale und einfach zu transformierende Beschreibung der Bedienbilder benötigt wird.

HTML5[9] zum Beispiel ist ein herstellerunabhängiges, neutrales Format. HTML5 als ein in der IT etabliertes Format, publiziert durch das W3C als offene Sprache, kann ohne Wissen über proprietäre Bedienbildformate interpretiert werden. Wenn zusätzlich skalierbare Grafiken benötigt werden, können diese als SVGs (Scalable Vector Graphics) zum Beispiel im HTML5-Code eingebettet werden. Dadurch können auch spezielle Bilder und Grafiken verwendet werden. Das übergeordnete Leitsystem muss die entsprechende Technologie zu Darstellung (z. B. ActiveX, HTML5 etc.) unterstützen. Vorteil ist, dass diese Technologien vorhanden und weit verbreitet sind. Der Nachteil ist aber, dass damit die Durchgängigkeit der Darstellung in keiner Weise gewährleistet werden kann.

2. Die Modulbeschreibung liefert eine Beschreibung der Darstellung des Moduls und das übergeordnete Leitsystem entscheidet über die endgültige grafische Darstellung. Damit ließe sich die Durchgängigkeit der Darstellung sicherstellen. Allerdings kann dann im Engineering des Moduls der Modulhersteller die finale Darstellung seines Moduls nicht sehen, ja sie kann und wird sich sogar von Leitsystem zu Leitsystem unterscheiden.

Der vollintegrative Ansatz des HMI verlangt Standardisierung der Modulbeschreibung bis in die Ebene 5. Die Einschränkungen bzgl. Ebene 6 bleiben auch in diesem Punkt zunächst gültig.

Möchte man diesen Punkt überwinden, muss eine Technologie gewählt werden, die es auch erlaubt, Businesslogik aus der Modulbeschreibung in das HMI des übergeordneten Leitsystems zu bringen. In FDI gibt es diese Ansätze. Unter der Voraussetzung, dass die komplette HMI-Businesslogik des Moduls in der Beschreibung enthalten wäre, ließe sich auch eine Integration auf Ebene 6 erreichen.
Ein Kompromiss zwischen Halb- und Vollintegration wäre die Nutzung von Halbintegration für die Operatorbilder und von Vollintegration mit Ansatz 1 für Detail- und Diagnosesichten. Das würde den notwendigen Standardisierungsbedarf und die technische Umsetzung in den Leitsystemen vereinfachen.

3.5 Durchgängigkeit der Bedienkonzepte

Die Ansätze 3.4.2 und 3.4.3 stellen zwar bis zu einem gewissen Grad eine durchgängige Darstellung der Module sicher, ein durchgängiges Bedienkonzept ist damit aber noch keinesfalls automatisch gegeben. Es ist nicht festgelegt, welche Bedienmöglichkeiten ein Modul haben kann bzw. muss.

Systemtechnisch gibt es lediglich eine begrenzte Möglichkeit, die Situation zu verbessern. Hier bedarf es einer entsprechenden Standardisierung, die die Betreiberfirmen mit den Modullieferanten voranzutreiben haben.
Dieser Standardisierungsprozess verändert das Bedienen und Beobachten von modular automatisierten Prozessanlagen. Infolgedessen ändern sich auch die Arbeitsprozesse der Instandhaltung.*

* siehe Thesenzusammenfassung im Anhang 9.5

4 Engineering in der modularen Automation

Die Modularisierung von Anlagenteilen hat zur Konsequenz, dass bei bekannten Modulspezifikationen ein großer Teil der Engineeringleistungen vorab erbracht wurden bzw. erbracht werden können. Diese erbrachten Leistungen müssen nicht erneut erbracht werden, solange sich die Spezifikation nicht ändert. Diese Einsparung kann zu einer substanziellen Produktivitätssteigerung führen.

4.1 Anlagenplanungsprozess im modularen Engineering

Abbildung 8 zeigt modulares Engineering in der Verfahrenstechnik/Prozesstechnik. Für modulbasierte Produktionsanlagen in der Prozessindustrie sind im Zuge der Modularisierung einzelner verfahrenstechnischer Funktionen zwei Effekte für den wirtschaftlichen Erfolg von entscheidender Bedeutung:

1. Flexibilität der Module für einen Einsatz mit einem möglichst breiten Band von Prozessparametern.

   Da der spezifische Einsatz der Module in eine Anlage zum Zeitpunkt des Designs der Module noch nicht festgelegt ist, sollte ein Modul im Sinne eines ‚general purpose' möglichst breit angelegt sein.

2. Standardisierung der Module, um den notwendigen Aufwand für das Engineering pro Modul signifikant reduzieren zu können.

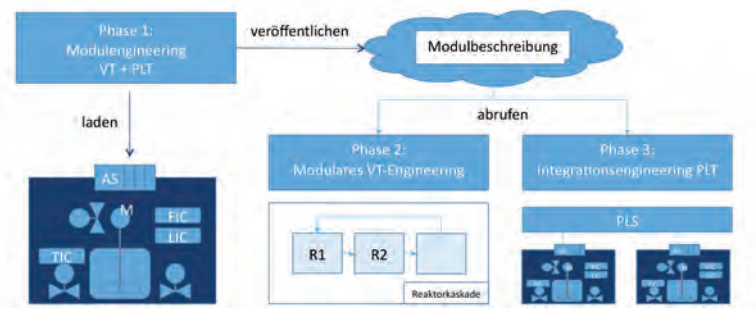
Der Anlagenplanungsprozess kann bei standardisierten Modulen weitgehend vereinfacht werden, weil Engineering, Qualifizierung und Abnahmen in Teilen schon durchgeführt wurden.

Die Planung der Anlage und ihr Bau sind maßgebend für die Dauer bis zur Produktion. Der Zeitpunkt, an dem der PLS-Ausrüster in die Planung einbezogen bzw. beauftragt wird, variiert abhängig von individuellen Projektrahmenbedingungen. Fest steht, dass der Abschluss der Inbetriebnahme den Abschluss der Arbeiten am PLS ebenso voraussetzt wie den Abschluss der Bauarbeiten. Bei Erreichen eines mittleren Grads an Standardisierung ist davon auszugehen, dass die Tätigkeiten im Lebenszyklus des PLS bis zum Abschluss der IBN nicht auf dem kritischen Pfad der Bauzeit liegen.

Die Reduzierung der Bauzeit T durch die Verwendung vorgefertigter Module und der Mehrwert durch die Möglichkeit der Wiederverwendung stellen den Nutzen dar, den modulbasierte Anlagen gegenüber konventionellen Anlagen bieten. Beide Ziele müssen im ausreichenden Maße und Umfang realisiert werden, damit modulbasierte Anlagen konkurrenzfähig werden.

Insbesondere ist darauf hinzuweisen, dass bereits im verfahrenstechnischen Engineering mit Modulen zu planen und zu ‚engineeren' ist. Nur dort ‚engineerte' Module können später im leittechnischen Engineering effizient verwendet werden.

Abb. 8: Modulares Engineering Verfahrenstechnik/Prozessleittechnik



4.2 Modulengineering

Das Modulengineering ist über die zu spezifizierenden Schnittstellen der Modulanlage mit dem verfahrenstechnischen Engineering der Anlage verflochten. Das Engineering des Moduls ist, abhängig von den eingesetzten Engineering-Tools, in unterschiedlichem Maße zeitaufwendig. Im Folgenden soll versucht werden, die entscheidenden Aspekte zu erläutern, die bei dem Modulengineering aus Sicht des Automatisierers wichtig sind; unter Berücksichtigung der Vielzahl von Technologien und Philosophien, die durch die Gremienmitglieder vertreten sind.

Zu Beginn sei darauf hingewiesen, dass das Engineering eines Moduls in dem System stattfindet, das der Modulhersteller verwendet. Dies kann ungleich zu dem des übergeordneten Leitsystems sein. Eine Integration des Modulengineering in das Engineeringsystem des Leitsystems ist nicht vorgesehen.

Um technologieunabhängige Aussagen machen zu können, werden verschiedene Aspekte betrachtet. Die Topologie des Automatisierungssystems ist in Kapitel 3.2 beschrieben. Die funktionale Strukturierung und der methodische Ansatz werden im Folgenden beschrieben.

4.2.1 Funktionale Strukturierung

Die Struktur bezieht sich auf die softwaretechnische Realisierung der modulbasierten Automatisierung. Diese muss ebenso modulbasiert sein wie die verfahrenstechnische Umsetzung, und ist im Grunde deren softwaretechnische Entsprechung. Die Umsetzung nimmt entscheidenden Einfluss auf folgende Charakteristiken der Software:

- Wiederverwendbarkeit
- Wartbarkeit bzw. Flexibilität im Sinne der Grundidee der Modularisierung
- Usability der Software im Sinne der ISO 25000[1].

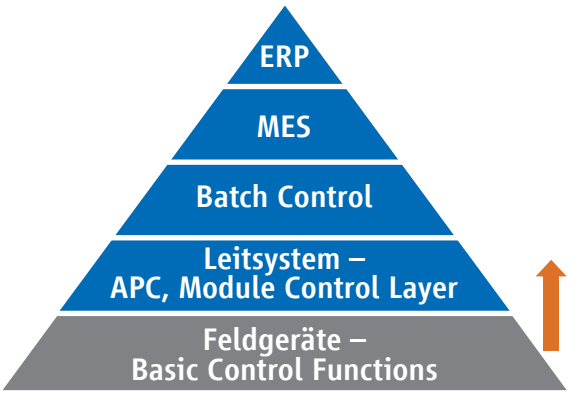
Um die Bedeutung des Datenmodells deutlich zu machen, werden nachfolgend zwei unterschiedliche Ausprägungen des Datenmodells vorgestellt:

(a) Klassischer Durchgriff auf Feldebene
→ klassischer Anlagenbau

(b) Bereitstellung von Diensten
(Kapselung des Moduls)
→modulbasierte Produktionsanlagen

Der konzeptionelle Weg von der konventionellen Chemieanlage bis zur modulbasierten Anlage impliziert einen Übergang von Konzept (a) zu (b). Dieser Übergang hat die Reduktion von Komplexität und Kapselung von Funktionen zur Folge. Die Feldebene verschwindet nicht, aber sie wird für den Bediener zunehmend unsichtbar.

Abb. 9: Regelpyramide der steuerungsrelevanten IT-Systeme



Beispiel:

Man stelle sich als thematische Analogie den Wandel in der Fahrzeugtechnologie vor. Vor 25 Jahren konnte und wollte jeder Fahrer eines VW-Käfers den Motor seines Fahrzeugs auch warten und reparieren können. Heute ist der Motor eine gekapselte Einheit (nicht nur beim ‚Käfer'). Zur vollständigen Diagnose ist meist der Besuch einer Fachwerkstatt notwendig. Der moderne Motor ist eine modulare Einheit, die Fehler- und Statusmeldungen generiert, aber die detaillierte Diagnose sollte einem Experten (intern/extern) übertragen werden.

[1] Die internationale Norm ISO/IEC 25000 Software engineering – Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – Guide to SQuaRE ersetzt seit 2005 die Norm ISO/IEC 9126 und wurde von dem Normungsgremium ISO/IEC JTC 1/SC 07 Software and systems engineering erstellt.

Das Betriebskonzept modulbasierter Anlagen sieht die teilweise Verlagerung von Verantwortlichkeiten auf die Modulhersteller vor. Die begriffliche Ähnlichkeit zur Automobilindustrie und der Bezug zur oben beschriebenen Analogie sind nicht zufällig. Der Wandel des Betriebskonzepts ist nicht als Reduktion der Tranzparenz zu bewerten, sondern als Gewinn eines Fokus auf relevante (Prozess-)Informationen wie z. B.:

- Aktueller Zustand des Moduls
- Zustandsüberwachung im Hinblick auf zustandsbasierte Instandhaltung
- Fokus auf produktrelevante Daten: Qualität, Fortschritt des Produktionsablaufs etc.
- Fokus auf betriebsrelevante Daten: Energieverbrauch, Auftragslage & Scheduling etc.

Der beschriebene Wandel ist eine Konsequenz der Modularisierung. Diese verlangt neben dem Einsatz dedizierter Komponenten vor allem einen Wandel in den Erwartungen der Betreiber und Planer.

4.2.2 Methodischer Ansatz

Die Methode beschreibt die Sequenz von Aktivitäten, die zur Erreichung eines Ziels ausgeführt werden. Die Wahl der Methodik beinhaltet die Wahl der verwendeten Tools (z. B.: Development Kit, CAE-Tool + MS-Excel etc.), die Ausbildung der Mitarbeiter und andere Vorgaben wie interne Richtlinien und Prozeduren.

Das methodische Vorgehen im Rahmen des Engineerings modulbasierter Anlagen geschieht in einem kombinierten Ansatz:

(a) Top-down und
(b) Bottom-up

Bei dem Top-down-Ansatz wird die Gesamtanlage gemäß ISA 106 strukturiert. Auf Anlagenteil-Ebene werden die Module, die spezifische verfahrenstechnische Anlagen repräsentieren, abgebildet. Der Ansatz (a) wird zur Ermittlung der ersten Module und zur Unterstützung der Standardisierung von Modulen eingesetzt.

Den Top-down-Ansatz ergänzt ein Bottom-up-Ansatz, der sicherstellt, dass auch verfügbare Module zum Einsatz kommen. Dies zeigt nochmals deutlich, dass modulares Engineering nicht in der Leittechnik beginnt, sondern im verfahrenstechnischen Entwurf.

Der Toolunterstützung kommt eine besondere Bedeutung zu, weil sie einen wesentlichen Beitrag zur Produktivitätssteigerung liefert. Die Development Kits der verschiedenen Automatisierer sind hier nicht im Einzelnen zu bewerten. Ein Vergleich der Tools scheint nur schwer realisierbar zu sein. Ersatzweise mag die Fähigkeit zum ‚integrierten Engineering' ein gutes Maß zu sein, eine effiziente Unterstützung durch Tools zu belegen. Nun gibt es keine festgelegte Vorgehensweise zur Messung der Integration verschiedener Tools. Ein klares Indiz für eine gute Integration ist eine mehr oder weniger geschlossene Toolkette, die die Überführung der Engineeringdaten aus dem Anlagenbau in Engineeringdaten für das Leitsystem unterstützt. Weitere Kriterien können sein:

- Möglichst keine manuelle Eingabe von Daten
- Wenige speziell angepasste Lösungen, da sie sich nicht in der Praxis bewähren konnten (proven-in-use)
- Nachverfolgbarkeit von Änderungen
- Versionskontrolle

4.2.3 Engineering State-based Control

Das Engineering der Modultypen wird auf zweierlei Weisen realisiert, da zwei verschiedene Modulvarianten betrachtet werden:

Engineering Variante A: Die erste Variante enthält eine autonome Steuerung innerhalb des Moduls. Die Steuerung wird verwendet, um das Modul unabhängig zu steuern, als wäre es eine Stand-alone-Lösung. Deshalb können die normalen Engineeringverfahren verwendet werden, um Modultypen dieser Variante zu automatisieren. Der einzige Unterschied zum herkömmlichen Engineering ist, dass jedes Modul dem PLS seinen Zustand bekanntgeben muss. Deshalb müssen ‚State-based Control'-Konzepte während des Engineering angewandt werden.

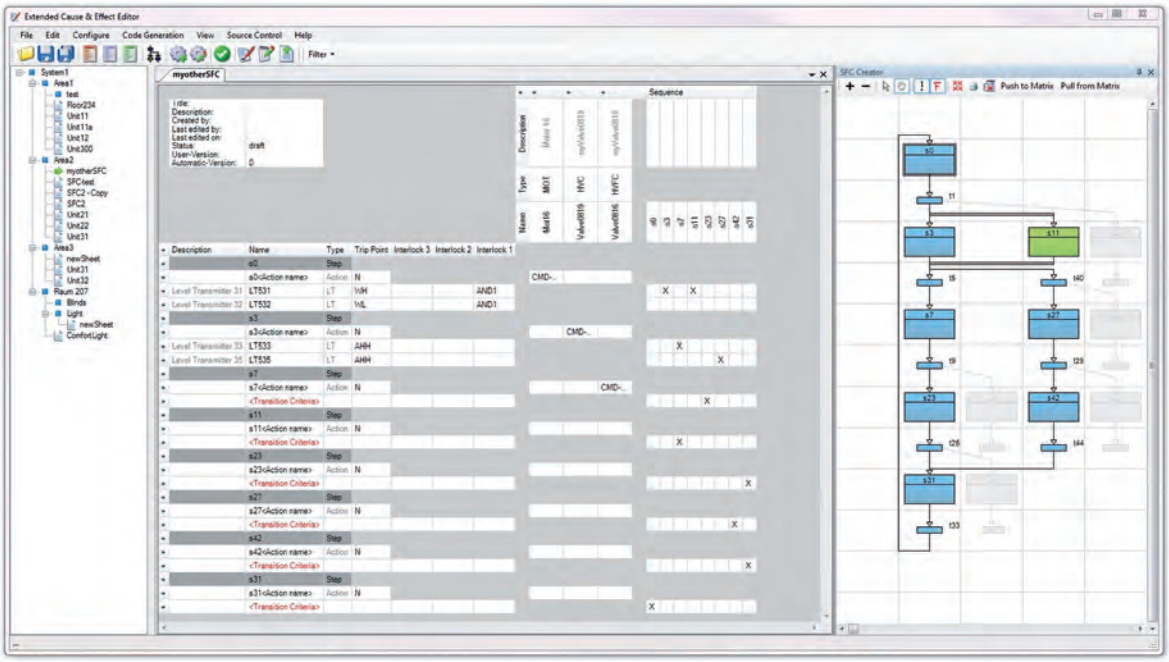
Engineering Variante B: In Variante B werden lediglich E/A-Baugruppen zur Ansteuerung verwendet. In diesem Fall wird die benötigte AT-Logik im übergeordneten PLS, DCS oder SPS System ausgeführt. Deshalb sollten Modultypen der Variante B mithilfe einer Methode entwickelt werden, die eine automatische Generierung des Codes zulässt.

Für diesen Fall wurde ein Engineering mittels extended Cause & Effect (xC&E)-Matrix diskutiert, da es die Möglichkeit bietet, SFCs (Sequential Function Charts, IEC61131-3[10]) als auch Zustandsmodelle zu modellieren.

Die xC&E-Matrix kann später als XML (z. B. auf IEC 62424: CAEX[11] basierend) herstellerneutral exportiert werden. Der Export kann zur automatischen Generierung der AT-Funktionen im PLS verwendet werden (siehe Abb. 10).

Über dieses XML wird dann die Anforderung nach Herstellerunabhängigkeit erfüllt. Da im Allgemeinen ein generierter Code nicht unbedingt von Menschen les- und wartbar ist, ist zu diskutieren, inwieweit dieser Ansatz bei den Anwendern wirklich Akzeptanz finden würde.

Abb. 10: xC&E-Darstellung eines SFCs



Quelle: ABB

5 Anforderung an die Sensorik und Aktorik

5.1 Miniaturisierung von Feldgeräten

Die Modularisierung verfahrenstechnischer Anlagen mit Fokus auf Durchführung im industriellen Maßstab durch sogenanntes Numbering-up geht einher mit einer skalierten Modularchitektur (Module im Modul ...) und einer entsprechenden Verkleinerung und Kompaktheit der Module. Damit findet tendenziell eine Reduktion der prozess- und hilfsmediumführenden Rohrleitungsnennweiten bei gleichzeitiger höherer Packungsdichte der Sensorik und Aktorik (Feldgeräteebene) statt. Es ergibt sich die Notwendigkeit einer möglichst kompakten Ausführung der Feldgeräte. Mit steigender Packungsdichte im (Sub-) Modul steigt die Belastung der (kompakten) Feldgeräte hinsichtlich der Umgebungsbedingungen – insbesondere durch hohe (prozessbedingte) Temperaturen, aber auch durch Abwärme von Apparaten und Elektrik. Eine weitere Modularisierungsebene auf Feldebene mit Trennung von Sensor und Messumformer bzw. Aktor und Ansteuereinheit (z. B. Stellungsregler, Magnetventil) kann notwendig sein. Ebenfalls ist eine Integration der Konverterelektronik in das Gehäuse des eigentlichen Sensors möglich, um das Bauvolumen zu verkleinern.

5.2 Baugrößen

Bei einer Verkleinerung und Verdichtung der Module mit Apparaten, Sensorik und Aktorik ergibt sich eine kompakte Bauweise, die eine manuelle Bedienung vor Ort nicht über Bedienelemente am Instrument, sondern über mobile, drahtlose Wartungsgeräte erfordert. Örtliche Anzeige und Bedienkomponenten können somit unter Umständen entfallen, und das freie Volumen kann zugunsten der Produktionsapparate eingesetzt werden.

Um entsprechend weiteres Volumen freizustellen, kann die Daten- und Signalübertragung auch mit Feldbussen o. Ä. erfolgen.

Sowohl Sensorik als auch Aktorik sollen auf geringere Durchflüsse und Rohrdurchmesser optimiert werden, eine Folge der verkleinerten Dimensionen. Bei zusätzlich stattfindender Prozessintensivierung können auch höhere Drücke vorkommen.

Bei mechanischen Verbindungen zwischen einzelnen Modulen und/oder Infrastrukturen, die selten (< einmal pro Monat) zu trennen sind, können fest verschraubte Sensoren, Aktoren und Leitungen zum Einsatz kommen. Allgemein sind aufgrund der kleinen Volumina vorzugsweise totraumarme Kupplungselemente zu verwenden.

5.3 Diagnoseanforderungen

(Anforderung NE 148, Kap. 3.2.4: Diagnose)

Um den Betrieb der Module über den Lebenszyklus sicherzustellen und gegebenenfalls zu optimieren, ist es innerhalb der Steuer- und Regelungsaufgaben unabdingbar, neben dem eigentlichen Prozessmesswert auch Zusatzinformation mitzuverarbeiten.

Die Standardisierung der Module – verbunden mit der Multiplizierbarkeit dieser Einheiten – begünstigt die Auswertung von Diagnoseinformationen. Hinzu kommt die Forderung aus dem Markt nach einer verstärkten Nutzung vorhandener Informationen. Dies bedeutet, dass speziell Asset-Informationen aus dem Feld mehr und mehr auf Modulebene zur Performancebewertung des verfahrenstechnischen Prozesses herangezogen werden.

Aus Sicht des Modulbetreibers erhöhen sich die Nutzenaspekte der einzelnen Assets, der Module und der Gesamtanlage mit einer durchgängigen standardisierten Integration von Diagnoseinformationen, direkt kommend von der Feldinstrumentierung.

Um die vorhandenen Anlagenkomponenten effizienter in Instandhaltungsmaßnahmen miteinzubeziehen, ist es für den Anlagenbetreiber unabdingbar, den Gesundheitszustand der Assets mithilfe der daraus resultierenden Diagnoseinformationen zu verwalten und zu bewerten.

Die Namur hat über die NE 107 bereits einen soliden Grundstein gelegt, der hilft, Diagnoseinformationen unter vier Filterkriterien einzuordnen, so dass sie später für den Anwender einfacher zu verstehen sind. Diese Kriterien sind wie folgt gegliedert:

Wartungsbedarf (Maintenance required)

Außerhalb der Spezifikation
(Out of specification)

Funktionskontrolle (Check function)

Ausfall (Failure)

Über diese vier Klassifizierungsfelder mit der entsprechenden Symbolik entsteht für das Betriebspersonal eine erhebliche Vereinfachung, was Fehlerbewertung und die daraus abgeleiteten Abhilfemaßnahmen betrifft. Auf Modulebene können die Informationen der unterlagerten Feldebene verknüpft und somit der Gesamtzustand des Moduls dargestellt werden.

Es ist darauf hinzuweisen, dass nur diejenigen Diagnoseinformationen im übergeordneten Leitsystem zur Verfügung stehen, die die Module bereitstellen (kein direkter Zugriff auf Feldgeräte). Hierzu müssen Betreiber mit den Modulherstellern einen vernünftigen Kompromiss zwischen Bedarf nach Information und IP-Schutz finden.

Dies stellt einen Paradigmenwechsel zur heutigen Vorgehensweise dar.

6 Standards und Normen

6.1 Explosionsschutz

Die bedeutenden, aber nicht einzigen Normen zum Thema sind:

- ExplosionsfähigeAtmosphären–Explosionsschutz – Teil 1: Grundlagen und Methodik; deutsche Fassung EN 1127-1:2011
- TRBS 2152 Teil 1–4: Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre
- IEC/EN 60079-xy: Beschreibung der Zündschutzarten für den elektrischen Explosionsschutz sowie Projektierung und Prüfung

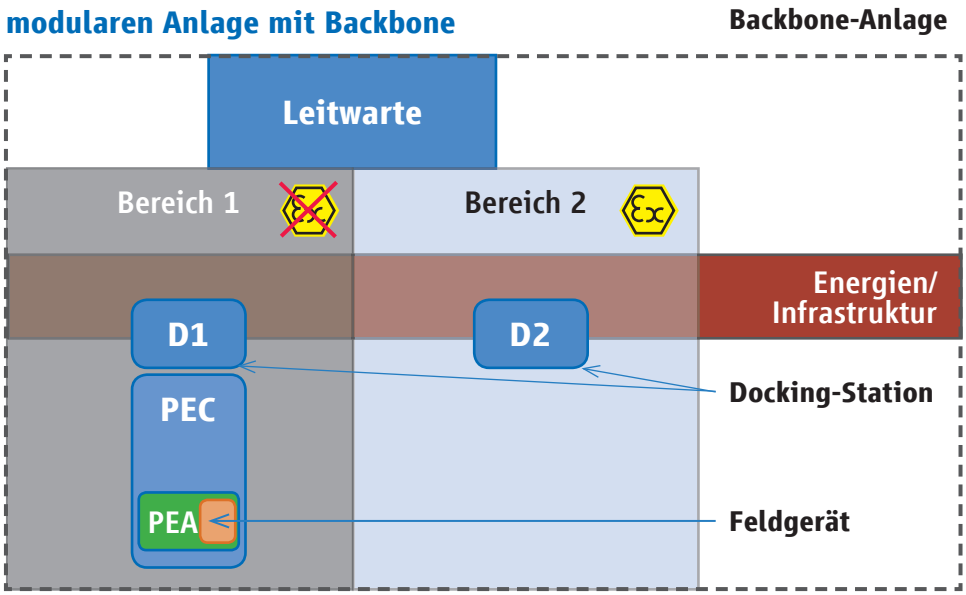
6.1.1 Schematischer Grundriss einer Produktionsanlage

Abbildung 11 zeigt den schematischen Aufbau einer Backbone-Anlage. Bei den Betrachtungen zum Explosionsschutz ist die besondere Struktur der Anlage von Bedeutung, weil unterschiedliche Konzepte zur Realisierung des Explosionsschutzes umgesetzt werden können.

Die Backbone-Anlage bietet die Möglichkeit, die Process Equipment Container (PEC, Unit im Sinne der ISA 106) anzudocken und sie so mit den notwendigen Energien zu versorgen, wie z. B. mit Strom, Datennetzwerk, Dampf, Druckluft, Gas, Abwasser usw. Der PEC ist eine Zusammenstellung von Process Equipment Assemblies (PEA, Equipment im Sinne der ISA 106), die wiederum Feldgeräte (Aktoren und Sensoren), Apparate, Rohrleitungen usw. beinhalten. Von einer Leitwarte aus werden die verschiedenen Prozesse beobachtet, überwacht und gesteuert.

Die Firma Invite GmbH stellt beispielsweise einen Bereich für den Betrieb transportabler modularer Prozessanlagen bereit. Hier können die containerbasierten Anlagen (PECs) über die Backbone an die Infrastruktur der Firma angebunden werden. Der PEC bildet den Rahmen zum Einbau der Module (PEA). Aus Gründen des Ex-Schutzes sind alle PEAs für Zone 1 ausgelegt worden. Ein alternativer Ansatz bietet innerhalb der Backbone-Anlage zwei Bereiche. Ein Bereich ist nicht als Ex-Zone klassifiziert und der andere als Zone 2 bzw. Zone 1, wobei Teilbereiche auch als Zone 0 klassifiziert sein können. Eine Produktionsanlage kann dann in Module mit und ohne Explosionsschutz unterteilt werden. Die Anlagenteile werden als PEC montiert und in den dafür eingerichteten Bereichen untergebracht und entsprechend verbunden. Gegenwärtig ist unklar, ob ein solcher Ansatz kosteneffektiv ist.

Abb. 11: Schematischer Grundriss einer modularen Anlage mit Backbone



Tab. 4: Besonderheiten, die eine modulbasierte Anlage hinsichtlich des Ex-Schutzes charakterisieren

EX-	Besonderheit	Erläuterung
A	Hohe Einbaudichte	Die Komponenten und Module stehen (relativ) dicht beisammen. Es besteht so gut wie keine Möglichkeit Geräte außerhalb des explosionsgefährdeten Bereichs zu installieren. Die natürliche Ventilation wird durch die hohe Einbaudichte eingeschränkt. Dieser Effekt wird teilweise durch die geringeren Stoffmengen kompensiert.
B	Modularität	Der modulare Aufbau gestattet die räumliche Trennung wie in der Abbildung 11 dargestellt. Eine hohe Modularität erfordert die Integration von Funktionen, die bislang außerhalb von explosionsgefährdeten Bereichen installiert werden konnten. Des Weiteren ergeben sich aufgrund der erhöhten Anzahl von Flanschen weitere Quellen für eine Explosionsgefahr.
C	Standardisierung	Die gewünschte Gleichförmigkeit der Module erfordert auch standardisierte Lösungen für den Ex-Schutz. Die Wahl eines Schutzkonzepts hat typischerweise auch Einfluss auf das Engineering der Komponenten und deren Einsetzbarkeit/Flexibilität.
D	Elektrische Betriebsmittel ohne Zulassung	Geräte wie Prozessleitsysteme, SPS oder Frequenzumrichter, also Geräte die typischerweise nicht explosionsgeschützt ausgeführt sind, sollen in explosionsgefährdeten Bereichen zum Einsatz kommen.
E	Zoneneinteilung und Auswahl der Betriebsmittel	Die Einteilung in Ex-Zonen wird durch die hohe Einbaudichte erschwert. Eine andere Sequenz von Modulen kann somit zu einer anderen Einteilung führen. Die Maßnahmen zur Ertüchtigung von Geräten für den Einsatz in den jeweiligen Ex-Zonen sind sehr vielfältig.
F	Zulassung/Abnahme	Abnahme und Zulassung sollten so weit möglich für ein Modul bereits vorliegen. Die Inbetriebsetzung einer Anlage bestehend aus mehreren Modulen wird eine separate Zulassung erforderlich machen.

6.1.2 Besonderheiten modulbasierter Anlagen

Modulbasierte Anlagen weisen im Hinblick auf ihre Ex-Klassifizierung und entsprechende Behandlung Besonderheiten gegenüber dem Explosionsschutz konventioneller Anlagen auf (Tabelle 4).

Da die Module variabel und flexibel eingesetzt werden sollen, muss ein möglicher Einsatz im Ex-Bereich berücksichtigt werden. Auf Grund der Kompaktheit der Anlagen und deren schlechtere Durchlüftung ist eine Einteilung der Anlage in unterschiedliche Zonen schwierig. Deshalb empfiehlt es sich, die Module für Zone 1 auszulegen.

6.1.3 Explosionsschutz und modulbasierte Anlagen

Die Basis für die Auswahl der elektrischen Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche ist das Explosionsschutzdokument. Dieses Dokument enthält alle erforderlichen Angaben für die Auswahl der elektrischen Betriebsmittel und die Art der Installation, wie z. B. die Zoneneinteilung, die Explosionsgruppe und Temperaturklasse. Für die Erstellung und die Pflege dieses Dokuments ist der Anlagenbetreiber verantwortlich. In der Praxis wird der Anlagenbetreiber auf die Zuarbeit durch den Projektierer der Anlage / des Fertigungsmoduls angewiesen sein. Nachfolgend sind einige Anmerkungen zu den in Tabelle 4 aufgeführten Besonderheiten aufgeführt.

A) Hohe Einbaudichte

Die hohe Einbaudichte der Fertigungsmodule führt dazu, dass bei ihrem Einsatz zur Verarbeitung von explosionsfähigen Gemischen mit hoher Wahrscheinlichkeit von einer Zone-1-Umgebung auszugehen ist. Das bedeutet, dass eine explosionsfähige Atmosphäre häufig auftritt. Fallweise ist eine technische Lüftung möglich, um den Bereich von Zone 1 auf Zone 2 herabstufen zu können. Aus dieser Betrachtung folgt:

- Bei der Verarbeitung von brennbaren Gasen oder brennbaren Flüssigkeiten oberhalb des Flammpunkts kann es zur Bildung explosionsfähiger Atmosphären kommen. Dadurch wird das gesamte Fertigungsmodul zu einem explosionsgefährdeten Bereich. Bei Containern, die räumlich nahe beieinander installiert sind, kann die explosionsfähige Atmosphäre von einem Container auf den anderen übergreifen. Gemäß der Betriebssicherheitsverordnung muss diese Wechselwirkung zwischen den Containern berücksichtigt werden
- In modularen Anlagen ist die Anzahl der Anlagenteile und Geräte, die in explosionsgefährdeten Bereiche betrieben werden, größer als in nicht modularen Anlagen
- Für einen optimalen Aufbau wird ein Mix von Zündschutzarten zum Einsatz kommen
- Es gibt unterschiedlich hohe elektrische Leistungen vor Ort (im Modul)
- Regelung vor Ort (smarte Feldgeräte): Die Regelungen und Steuerungen – bisher meist nicht explosionsgeschützt ausgelegt – werden nun im Ex-Bereich installiert

Der Einsatz der Zündschutzart Eigensicherheit erfordert die Einhaltung der dafür vorgeschriebenen Installationsvorschriften entsprechend der EN 60079-14/DIN VDE 0165-1. Diese Vorschriften verlangen unter anderem, dass die Installation so erfolgt, dass kein Leistungseintrag von außen erfolgt. Aus diesem Grund werden eigensichere Leitungen zumeist getrennt von nicht eigensicheren Leitungen verlegt.

Aufgrund der hohen Einbaudichte ist von einer erhöhten Gefahr einer thermischen oder chemischen Einwirkung auf die installierten Leitungen auszugehen. Diese Punkte gilt es bei der Installation zu beachten.

B+C) Modularität und Standardisierung

Ein Modul oder eine ‚Package Unit' stellt eine Teilanlage dar, die in das Explosionsschutzkonzept der Gesamtfertigungsanlage integriert werden muss. Für die Anforderung an den Explosionsschutz sind demnach sowohl das Fertigungsmodul selbst als auch die zu erwartende Umgebung zu berücksichtigen. Dieser Umstand stellt einen weiteren Grund dafür dar, ein Fertigungsmodul für den Einsatz in Zone 1 auszulegen, da damit ein hoher Grad an Flexibilität erreicht wird.

D) Elektrische Betriebsmittel ohne Zulassung

Die Verwendung von Schaltkästen und Schaltschränken in Ex p oder Ex d sind geeignet, Leistungselektronik und Steuergeräte für Ex-Zonen zu ertüchtigen. Dadurch können Steuergeräte und z. B. Wechselrichter direkt in den Modulen verbaut werden.

Die Zündschutzarten druckfeste Kapselung Ex d und Überdruckkapselung Ex p erlauben es, elektrische Betriebsmittel, speziell solche mit höherer elektrischer Leistung, für die Installation in explosionsgefährdeten Bereichen zu ertüchtigen. Beide Zündschutzarten haben Vor- und Nachteile, die es abzuwägen gilt.

Die Überdruckkapselung erlaubt es, relativ große Gehäuse bis hin zu einem kompletten Container aufzubauen, in denen ein Automatisierungssystem und Leistungselektronik wie Motorsteuerungen untergebracht werden können. Die benötigten Gehäuse sind dabei nur geringfügig schwerer als vergleichbare industrielle Gehäuse ohne Anforderungen an den Explosionsschutz. Die Explosionsschutzart benötigt jedoch Druckluft aus dem Nicht-Ex-Bereich.

Eine Inertisierung kann als Mittel der Prävention eingesetzt werden. Dabei können die eingebauten Systeme beim Anlagenstart erst nach ausreichendem Spülen mit Druckluft/Stickstoff in Betrieb gesetzt werden. Bei einem Druckverlust werden die elektrischen Geräte sofort abgeschaltet.

Die Explosionsschutzart Ex d basiert auf einem Gehäuse, bei dem die Auswirkung einer Explosion auf das Innere des Gehäuses beschränkt

wird, also ein explosionsfähiges Gemisch in der Umgebung nicht entzündet wird. Um dem Explosionsdruck gewachsen zu sein, sind die Wandstärken solcher Gehäuse häufig massiv ausgeführt. Wie bei der Überdruckkapselung dürfen die eingebauten Geräte die äußere Oberfläche des kapselnden Gehäuses nicht so weit erwärmen, dass die umgebende explosionsfähige Atmosphäre gezündet werden kann. Im Vergleich zur Überdruckkapselung ist die druckfeste Kapselung unabhängig von der Versorgung mit Druckluft und erfordert keine zeitaufwendige Spülung vor der Inbetriebnahme.

Die Auswahl der Zündschutzart sollte auf die Funktion und den zu erwartenden Wartungsaufwand für die zu kapselnden Betriebsmittel abgestimmt sein. In den meisten Fällen wird ein angepasster Ex-Schutz-Mix die beste Lösung sein.

E) Zoneneinteilung und Auswahl der Betriebsmittel

Zu den anzuwendenden Zündschutzarten zählen praktisch alle außer Ex m, je nach Gerät, Modul und Zoneneinteilung: Ex i, Ex ic, Ex p, Ex d, Ex e, Ex q oder Ex o für Leistungselektronik, Frequenzumrichter oder Motorsteuerungen. Ex-o-Maßnahmen lösen zusätzlich die Erwärmungsprobleme der Umrichter.

F) Zulassung/Genehmigung

Der Anlagenbetreiber muss entsprechend der Betriebssicherheitsverordnung ein Explosionsschutzdokument erstellen. Der Hersteller eines PECs / einer modularen Fertigungseinheit wird als Basis für dieses Dokument die erforderlichen Informationen über das PEC zur Verfügung stellen müssen.

Für das Inverkehrbringen stehen dem Hersteller des PECs zwei Wege zur Verfügung. Der erste Weg ist, den PEC als Prozessanlage oder Teil einer Prozessanlage zu deklarieren. Die Betrachtung als Prozessanlage bedeutet, dass der PEC beim Hersteller fest installiert wird und Teil eines übergeordneten Fertigungsprozesses ist. In diesem Fall entfällt die Konformitätserklärung für den PEC und auch die CE-Kennzeichnung. Der Nachteil dieser Vorgehensweise ist jedoch, dass der Aufbau des PECs den jeweiligen Anforderungen eines Landes angepasst sein muss – ein freier Warenverkehr innerhalb der EU ist damit nicht ohne Weiteres gegeben.

Die alternative Vorgehensweise ist die Betrachtung des PECs als Maschine und die Anwendung der Maschinenrichtlinie. Diese Vorgehensweise bietet den Vorteil des freien Warenverkehrs innerhalb der EU und passt zu dem mobilen Einsatz und der angestrebten Austauschbarkeit solcher PECs. Wenn es sich um eine unvollständige Maschine handelt, d. h., der Hersteller kann nicht alle Risiken des PECs am Einbauort beurteilen, dann ist keine CE-Kennzeichnung und Konformitätserklärung erforderlich und es wird dem PEC eine Einbauerklärung mitgegeben. Bei der Beurteilung als vollständige Maschine sind die Risiken durch den Hersteller des PECs einschätzbar, und in diesem Fall erfolgt die CE-Kennzeichnung und das Ausstellen einer Konformitätserklärung entsprechend 2006/42/EG (MaschRL) und nach 94/9/EG (ExRL/ATEX 95).

In der Praxis bietet sich sinnvollerweise die Kombination beider Wege an. Die Betrachtung der Maschinenrichtlinie wird mit den Besonderheiten der Atex-Richtlinie kombiniert. In diesem Fall können auch die Risiken des PECs besser berücksichtigt werden (siehe 6.2 Funktionale Sicherheit, S. 25). Die Schadensauswirkungen von Maschinen sind in der Betrachtung der funktionalen Sicherheit geringer als die von prozesstechnischen Anlagen.

Es ist zu prüfen, ob die Maschinenrichtlinie angewendet werden muss. Es gibt Tendenzen, Anlagenteile oder kompakte Anlagen als verkettete Maschinen zu behandeln. Das bedeutet, der komplette Container (PEC) bzw. das Modul (PEA) müsste CE-gekennzeichnet sein. Bisher ist es so, dass einzelne, homogene Teilanlagen unter die Maschinenrichtlinie fallen können, die Gesamtanlage nicht; aber es wurden auch schon komplette Biogasanlagen nach der Maschinenrichtlinie gekennzeichnet.

Die Erstinbetriebnahme muss von einer ZÜS[2] abgenommen werden. Der Modullieferant muss die erforderliche Dokumentation wie z. B. Prüfberichte zur Verfügung stellen. Der Tausch von Modulen muss vom Fachmann begutachtet werden, jedoch ist eine befähigte Person nicht erforderlich.

Hier soll durch Bereitstellung geeigneter Dokumente und Vorlagen der Aufwand für die Dokumentation möglichst reduziert werden.

Tabelle 5 zeigt die Überführung einiger Anforderungen an modulbasierte Anlagen hinsichtlich Ex-Schutz zu entsprechenden Lösungsansätzen.

6.2 Funktionale Sicherheit

Die bedeutenden, aber nicht einzigen Normen zum Thema sind:

- Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme – Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 61508-1:2010); deutsche Fassung EN 61508-1:2010
- Funktionale Sicherheit – Sicherheitstechnische Systeme für die Prozessindustrie – Teil 1: Allgemeines, Begriffe, Anforderungen an Systeme, Software und Hardware (IEC 61511-1:2003 + Korrigendum 2004); deutsche Fassung EN 61511-1:2004

Tab. 5: Überführung von Anforderungen in einen Lösungsansatz für den Explosionsschutz

Anforderung allgemein	Bevorzugter Einsatz von Zündschutzarten mit geringem Platzbedarf	Lösungsansatz
Miniaturisierung der elektrischen Betriebsmittel	Installation von solchen Systemen wie z. B. einer SPS in Zone 1 erfordert i.d.R. eine Kapselung dieser Komponenten	Einsatz der Zündschutzart Eigensicherheit Ex i für Feldgeräte wie Messumformer oder Magnetventile
Installation von Automatisierungssystemen im Modul	Installation erfordert i.d.R. eine Kapselung dieser Komponenten	Kapselung durch Gehäusesysteme der druckfesten Kapselung Ex d oder durch Überdruck Ex p, Stromkreise höherer Leistung in Ex e, Signalstromkreise in Ex i
Installation der Stromverteilung im Modul	Installation erfordert i.d.R. eine Kapselung dieser Komponenten	Kapselung durch Gehäusesysteme der druckfesten Kapselung Ex d in Kombination mit Ex oder durch Überdruckkapselung Ex p, Stromkreise höherer Leistung in Ex e, Signalstromkreise in Ex i
Installation der Motorsteuerung (z. B. FU) im Modul	Elektrische Steckverbindungen bzw. Steckvorrichtungen für Versorgung mit Hilfsenergie	Kapselung durch Gehäusesysteme der druckfesten Kapselung Ex d oder durch Überdruck Ex p, Stromkreise in Ex e
Schnelle Installation und Deinstallation von Modulen	Elektrische Steckverbindungen für die Signalverbindungen	Einsatz von Steckverbindungen bzw. Steckvorrichtungen mit Zündschutzart Ex e Einsatz der Zündschutzart Eigensicherheit Ex i
Zum Zeitpunkt des Moduldesigns muss Gesamtdesign der Anlage nicht bekannt sein.	BM mit hohem Abdeckungsgrad bezogen auf EPL (Equipment Protection Level), Explosionsgruppe und Temperaturklasse	Wirtschaftlich sinnvoll ist die Auslegung für EPL Gb (Zone 1), Explosionsgruppe IIB und Temperaturklasse T4.
Breitbandiger Einsatz der Module für verschiedene Prozesse	Hoher Abdeckungsgrad bezogen auf EPL, Explosionsgruppe und Temperaturklasse	Wirtschaftlich sinnvoll ist die Auslegung für EPL Gb (Zone 1), Explosionsgruppe IIB und Temperaturklasse T4.
Globaler Einsatz	Internationale Zulassungen	Einsatz von Explosionsschutzarten, die in allen Regionen anerkannt sind. Baumusterprüfbescheinigungen nach IECEX können deshalb sinnvoll sein. Andererseits könnten sich Ex e-Installationen verbieten (z.B. in den USA, wo das Arbeiten mit der Conduit-Technik gängig ist). Die Zoneneinteilung kann unterschiedlich sein.

[2] Zugelassene Überwachungsstellen (ZÜS) wurden im Rahmen der Liberalisierung des Prüfwesens in Deutschland eingeführt und führen seit dem 1. Januar 2006 die Prüfungen durch, die bisher von den amtlich anerkannten Sachverständigen der Überwachungsorganisationen durchgeführt wurden.

Tab. 6: Besonderheiten, die eine modul-basierte Anlage hinsichtlich Funktionaler Sicherheit charakterisieren

FS-	Besonderheit	Erläuterung
A	Explosionsschutz-Klassifizierung/ Risikobewertung	Das Thema Explosionsschutz kann in die Betrachtung der funktionalen Sicherheit hineinspielen. Insbesondere die Separation der Anlage in Bereiche unterschiedlicher Ex-Zonen hat einen signifikanten Einfluss auf die Bewertung der funktionalen Sicherheit einer Anlage.
B	Modularität/ Hierarchisierung	Der modulare Aufbau gestattet die räumliche Trennung wie in der Abbildung 11 dargestellt. Dies ist als separates Konzept zu betrachten. Modularität bedeutet auch, dass Module zunächst separat und unabhängig von angrenzenden Modulen in Hinblick auf ihre funktionale Sicherheit bewertet werden können.
C	Standardisierung	Die Gleichförmigkeit der Module erfordert auch standardisierte Lösungen für die funktionale Sicherheit. Die Wahl eines Schutzkonzepts hat typischerweise auch Einfluss auf das Engineering der Komponenten und deren Einsetzbarkeit.
D	Zulassung/ Abnahme	Eine Zulassung bzw. Abnahme setzt die Vollständigkeit, Konsistenz und Nachvollziehbarkeit aller Dokumente voraus.
E	Anlagengröße/ Numbering-up	Die Anlagengröße ist verhältnismäßig klein. Die Mengen an Gefahrstoffen sind dann dementsprechend kleiner als bei World-Scale Anlagen. Anstelle einer großen Anlage werden mehrere kleine Anlagen verwendet: Numbering-up anstelle von Scale-up.

6.2.1 Besonderheiten modulbasierter Anlagen

Modulbasierte Anlagen weisen in Hinblick auf die Bewertung von Risiken einige Besonderheiten auf, die sich aus der Struktur und dem Betrieb der Anlagen ergeben. Einige wichtige Besonderheiten mit Erläuterung sind in Tabelle 6 dargestellt.

Die modulbasierte Anlage muss in jedem Fall in Gänze betrachtet werden. Diese Gesamtbetrachtung liegt in der Verantwortung des Betreibers. Diese Verantwortung kann nicht delegiert werden.

6.2.2 Funktionale Sicherheit und modulbasierte Anlagen

Die prinzipielle Aufgabenstellung gleicht der der konventionellen Anlage. Es gibt jedoch Unterschiede im Detail. Auf die in Tabelle 6 aufgeführten Besonderheiten wird in den folgenden Abschnitten etwas detaillierter eingegangen.

FS-A) Explosionsschutz-Klassifizierung/ Risikobewertung

Einerseits ist das Schadensausmaß einer Teilanlage geringer, da davon auszugehen ist, dass die verarbeitete Menge an gefahrbringenden Stoffen pro Modul kleiner ist. Andererseits führt die räumliche Enge dazu, dass Gefahrenzonen nicht leicht zu separieren sind und sich eventuell gegenseitig negativ beeinflussen.

FS-B) Modularität/Hierarchisierung

Die Betrachtung der Gesamtanlage ist von entscheidender Bedeutung für die Sicherheitsbetrachtung nach IEC 61511. Teilmodule bzw. Module können vorab separat betrachtet werden, jedoch ist die Betrachtung der Gesamtanlage **nicht** zu ersetzen. Dabei müssen die verfahrenstechnischen Wechselwirkungen zwischen den Modulen durch den Betreiber in der Sicherheitsanalyse berücksichtigt werden. Das Konzept zur Dokumentation muss auf den Dokumenten der Einzelmodule aufbauen.

Die Kopplung zum Backbone ist ebenfalls von großer Wichtigkeit und eventuell nicht in umfänglichem Maße standardisiert. Leckagedetektoren für die Andockstellen könnten notwendig sein.

Für den Fall, dass Module über separate SISe verfügen, müssen diese in geeigneter Weise in eine leittechnische Lösung integriert werden. Sicherheitsgerichtete Feldbussysteme erscheinen zweckmäßig. Wie kann die gewünschte Kompatibilität der SISe in den verschiedenen Modulen erzielt werden?

Eventuell kann das SIS nach Betrachtung der Gesamtanlage ohne nennenswerten Zeitverzug ausgerüstet werden, da die Instrumentierung für das SIS erst nach Betrachtung der Gesamtanlage definiert werden kann. Andernfalls ist bei der Notwendigkeit von SISen eine SSPS für jedes Modul vorzusehen.

FS-C) Standardisierung

Bei standardisierten Modulen kann die Gleichförmigkeit der Anlagen dazu dienen, den Nachweis der funktionalen Sicherheit leichter erbringen zu können. PEAs können als Einheit sicherheitsgerichtet zertifiziert werden. Ein hoher Grad an Standardisierung ist dafür sicherlich notwendig.

FS-D) Zulassung/Abnahme

Um unnötigen Mehrarbeiten vorzubeugen, sollten sich die Dokumente, die ein Modul betrachten, in andere Rahmendokumente möglichst nahtlos und ohne Anpassungsbedarf einfügen. Ein unklares Konzept in der Dokumentation führt zu kostenintensiver Nacharbeit. Die Dokumentation muss zu jedem Zeitpunkt nachvollziehbar und konsistent sein.

Ähnlich wie im Explosionsschutz muss der Modullieferant eine genaue Beschreibung für das Modul liefern – im Prinzip ein ‚Sicherheitshandbuch' für das Modul, das dem Endanwender genau beschreibt, wie das Modul eingesetzt werden muss.

FS-E) Anlagengröße/Numbering-up

Durch das Numbering-up erhöhen sich die Teilrisiken zu einem höheren Gesamtrisiko, gemessen an der Großanlage mit gleichem Produktvolumen, da die Risiko-Analyse auf Modulebene durchzuführen ist. Bei zehn Modulen ist das Gesamtrisiko das Zehnfache des Einzelrisikos, das sowohl für das Modul als auch für die Großanlage anzusetzen wäre. Allerdings kann das Schadensausmaß bei Versagen eines Moduls geringer sein als bei der Großanlage.

6.3 GAMP-Aspekte

Die Einhaltung der Richtlinie GAMP 5[3] oder der von der PAT-Initiative[4] verfassten Prozeduren sind eine Voraussetzung für die Bearbeitung von Projekten im regulierten Markt (z. B. pharmazeutische Industrie). Die Art und Weise der Bearbeitung von modulbasierten Anlagen bzw. ihrer Automatisierung unterscheidet sich in den Arbeitsprozessen nicht von denen konventioneller Anlagen. Die Validierung ist entscheidend für den Betreiber, denn ohne diese darf die Anlage nicht betrieben werden. Außerdem stellt die Validierung einen bedeutenden Teil der Gesamtkosten dar.

Bei konventionellen Anlagen beginnt die Dokumentation auf der Feldebene (Aktoren, Sensoren etc.). Bei der Betrachtung modulbasierter Anlagen mit standardisierten Modulen als technischen Einrichtungen ist diese bereits vollständig dokumentiert. Es fehlt lediglich individuell für jede Konfiguration modulbasierter Anlagen die Dokumentation der Schnittstellen und Komposition von Modulen.

[3] http://www.ispe.org/gamp-5
[4] http://www.fda.gov/aboutfda/centersoffices/officeofmedicalproductsandtobacco/cder/ucm088828.htm

6.3.1 Vereinfachung der Dokumentation

Ziel des Engineerings modulbasierter Anlagen sollte auch sein, die Beschreibung der Anlagen auf eine höhere Ebene zu heben, die sich daraus ergebende Dokumentation zu vereinfachen und somit einen unmittelbaren Mehrwert für den Betreiber zu schaffen. Das setzt voraus, dass die Beschreibungen der entsprechenden Anlagenteile vollständig vorhanden sind und in der angemessenen Form vorliegen.

‚Angemessene Form' bedeutet hier die vollständige Beschreibung der Anlagenteile im geforderten Umfang und in einer für das jeweilige Projekt konsistenten Form. Beides ist eine Voraussetzung für eine erfolgreiche Genehmigung des Prozesses durch die verantwortliche Behörde (EMEA bzw. FDA).

6.3.2 Anforderungen an die Dokumentation

Die Dokumentation zur Validierung des PLS muss verständlich für die Auditoren sein und die Implementierung des Automatisierungssystems vollständig und konsistent beschreiben. Im Sinne der Wirtschaftlichkeit sollte die Formulierung knapp und präzise gehalten sein.

Neben den technischen Inhalten ist die Norm ISO 9000[5] (Qualitätsmanagement) einzuhalten, die Dokumentenstrukturen im Sinne der Nachverfolgung und Verantwortlichkeit definiert. Darüber hinaus müssen alle relevanten Punkte beschrieben werden. Da die konkrete Form der Dokumente von Projekt zu Projekt variiert, ist es notwendig, sich bei der Entwicklung der Dokumente auf die Inhalte des Dokuments zu konzentrieren. Falls möglich, sollten diese in einer werkzeugunabhängigen Weise (z. B.: XML) gespeichert werden.

Auditoren bestehen von Fall zu Fall darauf, auf die Details von beschriebenen Modulen einzugehen und diese zu prüfen. Dies mag im konkreten Fall bedeuten, dass die Details eines Moduls, z. B. Richtung Feldebene, offengelegt werden müssen. Dies geschieht, um sicherzustellen, dass alle notwendigen Informationen im Falle einer Fehlfunktion von Geräten vorliegen. Alternativ kann möglicherweise auch der Lieferant selbst auditiert werden, um seine Fähigkeiten zur rechtzeitigen Reaktion festzustellen. In dem Fall kann eine Offenlegung der Modulinhalte entfallen.

[5] http://www.iso.org/iso/iso_9000

7 Schlussbemerkung

Die modularen Konzepte für die Automatisierung befinden sich noch in der vorwettbewerblichen Forschungsphase. Dieses Papier präsentiert ein Konzept zur Entwicklung modularer AT-Systeme, die letztlich die Anforderungen nach NE 148 erfüllen. **Der Arbeitsstand heute zeigt, dass modulare Automation möglich ist.***

Wesentlich hierfür ist, dass Zustandsmodelle zur abstrakten Beschreibung und Ausführung der AT-Funktionen verwendet werden und zusätzlich objektorientierte Ansätze aus der Software angewandt werden, um Datenkapselung und die nahtlose Integration der Module ins übergeordnete PLS zu erlauben.

Daneben wurden Ansätze für das Engineering modularer Anlagen diskutiert. Hingewiesen sei insbesondere auf das Verhältnis zwischen dem Modulengineering und dem Engineering des Leitsystems. Auf die entscheidende Rolle der frühen Engineeringphasen wurde ebenfalls eingegangen. **Die modulare Automation folgt dem modulbasierten Anlagenbau und macht diesen wirtschaftlicher.***

Die Felder ‚Security' und ‚Lifecycle von modularen Anlagen' wurden aufgrund des voraussichtlichen Umfangs bewusst im Rahmen des White Papers nicht betrachtet. Sie sollen in einem weiteren Schritt näher beleuchtet werden.

In dem Kapitel Sensorik/Aktorik und Standardisierung und Normen wurde auf die Besonderheiten von modularen Anlagen eingegangen.

Wenn die beschriebenen Ansätze in der Anlagenplanung, im Engineering und in den Automatisierungssystemen Anwendung finden, gibt es die Chance, die durch die Namur identifizierten Potenziale zu heben. Für einen Durchbruch des modularen Anlagenbaus bedarf es einer kritischen Masse von Anlagen und des Durchsetzens der notwendigen Paradigmenwechsel. Entscheidend hierbei wird die Entschlusskraft der Betreiber sein. Eine Umsetzung kann nur schrittweise erfolgen und sollte in entsprechenden Pilotprojekten angegangen werden.

* siehe Thesenzusammenfassung im Anhang 9.5

8 Literaturverzeichnis

[1] Michael Obst, et al: Automatisierung im Life Cycle modularer Anlagen – Welche Veränderungen und Chancen sich ergeben. atp-edition 55(1-2):24-31, 2013.

[2] Stefan Ochs, Frank Stenger: Modularisierung – Erste Erfahrungen. Vortrag auf der Namur Hauptsitzung, 2012.

[3] F3 factory project: http://www.f3factory.com/

[4] Namur Empfehlung 148: Anforderungen an die Automatisierungstechnik durch die Modularisierung verfahrenstechnischer Anlagen. 2013

[5] Namur Empfehlung 33: Anforderungen an Systeme zur Rezeptfahrweise. 1993.

[6] David Huffman: Benefits of State Based Control. Isa.org, White Paper, 2009.

[7] ISA 88: Batch Control. 1995 – 2006. (Similar publication as IEC 61512, 2000-2011). Seit 2013 ist eine Anpassung der ICE 61512 in Planung. Die finale Freigabe einer neuen Version ist für 2015 vorgesehen. Mögliche Auswirkungen werden ggf. in einer Revision des White Papers berücksichtigt.

[8] ISA 106: Procedure Automation for Continuous Process Operations. 2013.

[9] HTML 5 – A vocabulary and associated APIs for HTML and XHTML. http://www.w3.org/TR/2014/CR-html5-20140204/

[10] IEC 61131-3 (2013) Ed. 3.0 – English: Programmable Controllers – Part 3 Programming Languages.

[11] Webseite des Verbands der chemischen Industrie: http://publikationen.vci.de/publikationen/CHIZ-2013/blaetterkatalog

[12] IEC 62424 (2008-08) Ed. 1.0 – English: Representation of process control engineering – Requests in P&I diagrams and data exchange between P&ID tools and PCE-CAE tools.

9 Anhang

9.1 Interne Analyse (Unternehmensanalyse)

S – Strength/Stärke, W – Weakness/Schwäche

	Unternehmen (Spezialchemie & Pharmazie in Europa) **Ziel: Welche internen Anreize und Strukturen gibt es bei den Kunden (der Automatisierer), die die Nutzung von modulbasierten Anlagen begünstigen/erschweren.** **Annahme: Beschränkung auf zwei Branchen, Produkte mit rel. kleinem Jahresvolumen.**
W-1	Es fehlen erfolgreiche Produkte (die durch Patentverlust entstehende Mindereinnahmen werden nicht durch neue Produkte abgefedert) → Patentklippe
S-1	Ein bedeutender Teil der Pharmaprodukte weltweit wird in Europa hergestellt aufgrund der großen Kundenbasis (ein großes Potenzial aus dem geschöpft werden kann)
W-2	Hohe Entwicklungskosten für neue Produkte. Der Verkürzung der Bauzeit von Produktionsanlagen kommt deshalb eine große Bedeutung zu.
W-3	Fachabteilungen verschwinden in den großen Konzernen
W-4	(Gründe: Outsourcing + Brain Drain)
S-2	Zu wenig Personal für laufende Projekte
W-5	(Abhängigkeit von externen Firmen, Schlagwort: Know-How-transfer)
W-6	Tendenz zur Fokussierung auf das Kerngeschäft. Hersteller hält Know-How am Produkt und fokussiert sich auf Qualität und Ausbeute. Themen wie Produktstabilität bekommen einen stärkeren Fokus→ mehr Automatisierung.
W-7	Tendenz zur Fokussierung auf das Kerngeschäft. Hersteller hält Know-How am Produkt verliert jedoch die Fähigkeit Anlagen selbständig zu warten und zu pflegen. Diese Tätigkeiten werden in den Markt gegeben.
W-8	Überlegung ‚Make or Buy' steht häufig im Raum. Nicht selten werden andere Firmen mit der Herstellung beauftragt. Konzentration des Verfahrens-Know-Hows beim Hersteller. Produkt-Know-How verbleibt beim beauftragenden Unternehmen. (Know-How schützen!)
W-9	Scale-up ist ebenso wichtig wie Scale-Down – beides ist ein kostspieliges Problem bei konventionellen Anlagen. Hinzu kommt, dass das Scale-up auch eine verfahrenstechnische Aufgabenstellung ist.
W-10	Die Anlagen sind nicht in dem Maße automatisiert, wie das in anderen Industrien (auch in Großteilen der Prozessindustrie) schon üblich ist. ‚Die Anlagen sehen eher aus wie große Laboranlagen'

9.2 Externe Analyse (Umweltanalyse)

O – Opportunity/Chance, T – Threat/Risiko

	Unternehmen (Spezialchemie & Pharmazie in Europa) **Ziel: Welche externen Anreize und Marktmechanismen gibt es, die die Nutzung modulbasierter Anlagen begünstigen/erfordern/behindert?** **Annahmen und Beschränkungen: s.o. + Europäischer Markt**
O-1	Demographischer Wandel (Megatrend: Fachkräftemangel)
O-2	Demographischer Wandel (Megatrend: zunehmender Bedarf an Medikamenten durch den Anstieg des Altersdurchschnitts)
O-3	Globalisierung (Megatrend: aufstrebende Märkte wie z. B. BRICS schaffen Wohlstand und somit Bedarf an Medikamenten bzw. die Möglichkeit der Finanzierung derer)
T-1	Globalisierung (Megatrend: aufstrebende Märkte produzieren Generika und stellen eine ernstzunehmende Konkurrenz dar)
O-4	Wellness-Generation (Megatrend: Bedarf an sogenannten ‚funktionalen' Lebensmitteln nimmt zu – das schafft Bedarf an Substanzen/Produkten, die keine Wirkstoffe im medizinischen Sinne sind, jedoch pharmazeutischen Wirkstoffen nahe kommen)
T-2	Energiewende (steigende Energiekosen führen zu einer Abwanderung der Produktion ins Ausland) – weniger relevant für pharmazeutische Industrie Es resultiert eine Marktverzerrung zu Ungunsten der Europäer, weil in den USA bspw. der Schiefergasboom die Energiepreise drastisch senkt.
T-3	Hohe Rohstoffpreise (Produktion bestimmter Produkte wird dadurch aufgeschoben oder verhindert)
O-5	Großer liquider Absatzmarkt in Europa (ist er das auch noch in der Zukunft?) – Zeitskala wesentlich länger
O-6	Gut ausgebildete Fachkräfte werden in wachsender Zahl benötigt und sind wichtiger Standortfaktor von Europa.
T-4	Verschlechterung der Marktbedingungen durch die Gesetzgebung Amnog (Gesetz zur Neuordnung des Arzneimittelmarktes) → http://www.bmg.bund.de/glossarbegriffe/a/das-gesetz-zur-neuordnung-des-arzneimittelmarktes-amnog.html
T-5	Patentklippe: viele erfolgreiche Produkte (Blockbuster) verlieren in letzter oder nächster Zeit den Patentschutz, ohne dass ähnlich erfolgreiche Produkte nachrücken.
T-6	Bestehende Produkttypen bzw. Wirkstoffe scheinen ‚ausgeschöpft' zu sein. Um eine signifikante Wirkungsverbesserung von Medikamenten zu erzielen, gehen Experten davon aus, dass neue Wege (Produkte) beschritten werden müssen. Problem neue Produkte zu entwickeln. Innovationsblockade
O-7	Modulbasierte Anlagen bieten sich an um bestehende Probleme zu lösen. Erste Erfahrungen mit der neuen Technologie sind vielversprechend.
T-7	Modulbasierte Anlagen sind kein gänzlich neues Thema. In der Vergangenheit sind Versuche solche Anlagen zu realisieren gescheitert (mit hohen Verlusten)

9.3 SWOT- Analyse

SWOT-Analyse		**Interne Analyse (Unternehmensanalyse)**	
		Stärken (Strengths)	**Schwächen (Weaknesses)**
Externe Analyse (Umweltanalyse)	**Chancen (Opportunities)**	**I. MATCHING-STRATEGIE** (S-2+O-6) Die Fokussierung auf das Kerngeschäft ist möglich, und entsprechendes Personal kann rationalisiert werden, weil die Lieferanten Personal stellen, welches diese Lücke auffangen kann, bei zeitgleicher Übertragung von Verantwortung (besseres Controlling z. B. von Verfügbarkeit).	**II. UMWANDLUNGSSTRATEGIE** (W-9+O-7) Modulbasierte Anlagen können die Bauzeit nach ersten Erfahrungen um bis zu 50 % verkürzen. Dadurch können Risiken bei Investitionen gesenkt und der Markteintritt vorgezogen werden. (W-7+O-7) Scale-up und Scale-Down ist mit modul-basierten inhärent gut möglich. Der Mehrwert ist besonders hoch, wenn das Scale-up aus dem Labor in einem Schritt zur Anlagengröße modul-basierter Anlagen gelingt. (W-2+O-7) Hohe Entwicklungskosten entstehen auch durch die relativ hohen Kosten konventioneller Anlagen (über den Lebenszyklus verteilt), die zudem auch speziell für ein Produkt gebaut werden. Die Wiederverwendbarkeit von Modulen kann helfen diese Entwicklungskosten zu senken. (W-10+O-7) Investitionsrisiken sinken, wenn durch die Verkürzung der Bauzeit der Zeitpunkt für den Baubeginn näher an das Datum der Zulassung verschoben werden kann. Die Chancen eines neuen Wirkstoffes können dann treffsicherer bewertet werden.
	Risiken	**III. NEUTRALISIERUNGSSTRATEGIE** (S-1+T-3) Steigende Rohstoffpreise können durch relativ geringe Preissensitivität des europäischen Marktes kompensiert werden. Konsequent muss im Bereich Marketing dafür gesorgt werden, dass die Produkte in der Kundenwahrnehmung präsent sind.	**IV. VERTEIDIGUNGSSTRATEGIE** (W-3+T-6) Die Anzahl firmeneigener Forscher ist zu gering. Durch die Nutzung offener Plattformen (Internet) kann der Wissenspool vergrößert werden, um so schneller zu

9.3.1 Bewertung der Ergebnisse der SWOT-Analyse

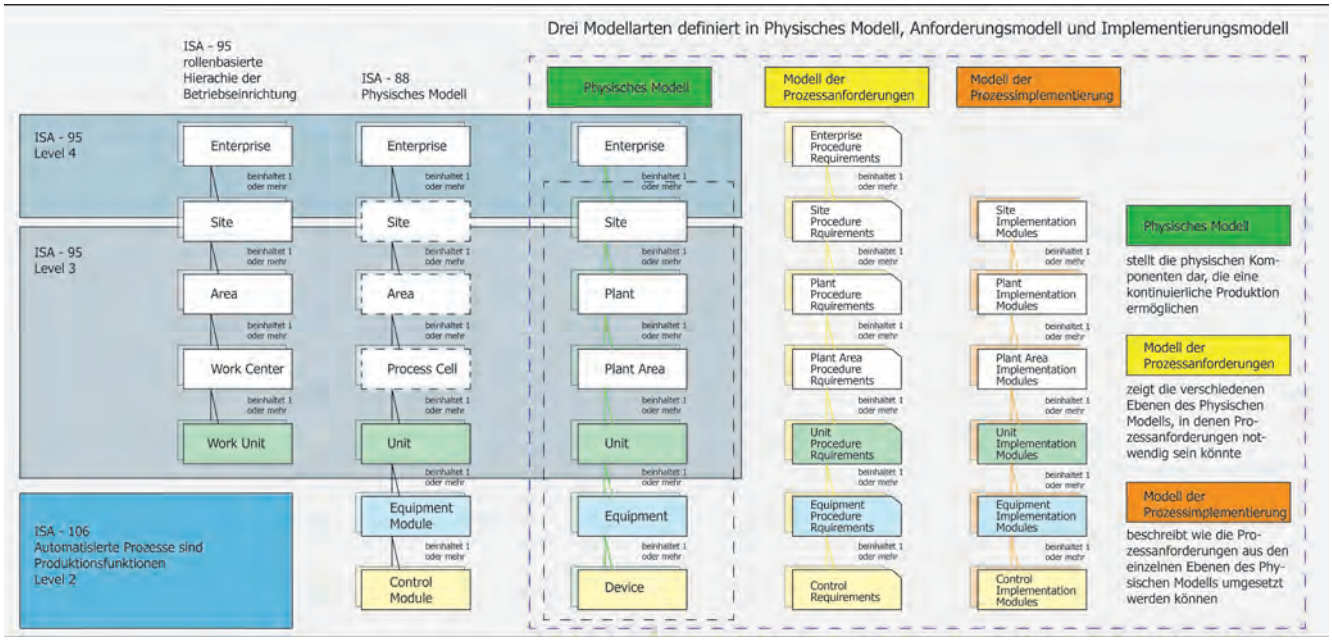
Nicht alle Punkte der Analyse haben einen direkten Bezug zu modulbasierten Anlagen. Diese Punkte wurden nicht aus den jeweiligen Listen entfernt, weil alle Punkte zusammen einen Gesamteindruck bilden, den es zu berücksichtigen gilt.

Die Ergebnismatrix zeigt ganz deutlich einen Schwerpunkt von Strategieoptionen im Sektor II (Umwandlungsstrategie). Dies lässt sich so interpretieren, dass bestehende und erkannte Probleme in den Unternehmen durch modulbasierte Anlagen gelöst werden können.

Der Bau modulbasierter Anlagen wird also in den Unternehmen die Strategie der Wahl sein, die davon überzeugt sind, so auf geänderten Marktanforderungen angemessen reagieren zu können. Gespräche haben gezeigt, dass diese Situation am ehesten in der Feinchemie bzw. pharmazeutischen Industrie anzutreffen sind, insbesondere dort wo ein Ersatz von Batch durch modulare Kontianlagen möglich scheint. Auf Grund dieser Einschätzung wir modulare Automation nur für einen Teil der Prozessindustrie relevant sein.

Kritiker (auch in den Reihen der Namur-Unternehmen) geben zu bedenken, dass die Technologie beim Versuch der Umsetzung schon in der Vergangenheit scheiterte bzw. nicht den gewünschten Mehrwert brachte. Die Markteintrittsbarrieren der neuen Technologie könnten so hoch sein, dass bei zu geringer Nachfrage nicht die kritische Masse erreicht wird, um standardisierte verfahrenstechnische Module als eine echte Alternative zu konventionellen Anlagen am Markt zu etablieren.

9.4 Hierarchien für kontinuierliche und diskontinuierliche Prozessautomatisierung



9.5 Zentrale Thesen des ZVEI-AK ‚Modulare Automation'

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e.V.
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main

Telefon: +49 69 6302-0
Fax: +49 69 6302-317
E-Mail: zvei@zvei.org
www.zvei.org

Bildnachweis – Titel: Invite GmbH