

VERKETTETE ANLAGE  
BESTEHEND AUS

SCHNITTSTELLE



MODUL 1-3

## Safety an modularen Maschinen

Whitepaper SF-3.1: 04/2018

*smartFactory*<sup>KL</sup><sup>®</sup>

# Inhaltsverzeichnis

## Abstract

Die Arbeitsgruppe 1 „Smarte Infrastruktur“ der *SmartFactory*<sup>KL</sup> befasst sich mit dem Thema **Safety in modularen Industrie 4.0-Produktionsanlagen**.

Ziel ist eine Anlagenstruktur, die Flexibilität und Wandelbarkeit, u. a. durch Modularisierung ermöglicht. Eigensichere Module werden mit konventioneller, funktionaler Sicherheit ausgestattet. Dennoch bestehen Abhängigkeiten zwischen den Modulen. Es ist eine neue Safety-Architektur in modularen Systemen notwendig, die auch unbekannte Module unterstützt.

Das Konzept wurde im vergangenen Jahr in die Industrie 4.0-Produktionsanlage integriert, um exemplarisch zu zeigen, dass dieses auch mit heutigen Technologien umsetzbar ist. Dabei wird lediglich eine gemeinsame Leitung (engl. Single wire coexistence) für die Realisierung von Safety und der Maschinenkommunikation genutzt.

Maschinen und Maschinenmodule können zur Laufzeit in die Produktion eingefügt oder daraus entfernt werden, ohne den Rest einer Anlage zu beeinträchtigen. Die hierfür notwendigen sicherheitstechnischen Parameter werden auf Basis der hier eingeführten Sicherheitsprofile weitestgehend automatisch ausgehandelt, konfiguriert und freigegeben. Die Anforderungen hierfür werden im Folgenden dargestellt.

## Keywords

Safety; Industrie 4.0; automatische Zertifizierung

## Autoren

|                    |  |
|--------------------|--|
| Jens Popper        | Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V |
| Marius Blügel      | Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V |
| Hagen Burchardt    | Bosch Rexroth AG                           |
| Steffen Horn       | Phoenix Contact Electronics GmbH           |
| Joachim Merx       | Pilz GmbH & Co. KG                         |
| Dr. Detlev Richter | TÜV SÜD Product Service GmbH               |
| Werner Varro       | TÜV SÜD Product Service GmbH               |
| Michael Pfeifer    | TÜV SÜD Industrie Service GmbH             |
| Pascal Staub-Lang  | TÜV SÜD Industrie Service GmbH             |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Zielsetzung des Whitepapers</b>  | <b>04</b> |
| <b>2. Status Quo</b>   | <b>05</b> |
| 2.1. Anforderungen an Safety innerhalb von<br>Industrie 4.0-Produktionsanlagen .....                 | 05        |
| 2.2. Status Quo – Maschinensicherheit modularer Anlagen .....  | 07        |
| 2.3. Safety innerhalb der <i>SmartFactory</i> <sup>KL</sup><br>Industrie 4.0-Systemarchitektur ..... | 08        |
| <b>3. Konzept</b>  | <b>10</b> |
| 3.1. Anforderungen .....   | 10        |
| 3.2. Konzept zur automatischen Konformitätsbewertung .....   | 11        |
| <b>4. Realisierung innerhalb der <i>SmartFactory</i><sup>KL</sup></b>                                | <b>15</b> |
| 4.1. Aufbau der Module und Anwendungsfälle .....   | 15        |
| 4.2. Sicherheitstechnische Profildefinition .....  | 18        |
| 4.3. Anwendungsfallbezogene Beschreibung der digitalen<br>Konformitätsbewertung .....                | 21        |
| 4.4. Beispielhafte Konformitätsüberprüfung<br>zweier verketteter Module .....                        | 24        |
| <b>5. Zusammenfassung und Ausblick</b>   | <b>28</b> |
| <b>6. Quellen</b>  | <b>29</b> |

# 1. Zielsetzung des Whitepapers

Dieses Whitepaper fasst die aktuellen Ergebnisse der Arbeitsgruppe zum Thema „Safety an modularen Maschinen“ zusammen. In Zusammenarbeit mit den beteiligten Partnern Bosch Rexroth, B&R, Festo, Phoenix Contact, Pilz und TÜV Süd wurde ein Konzept zur vereinfachten, teil- oder vollautomatisierten Zertifizierung entwickelt. Anhand der Beschreibung von sicheren Profilen, welche innerhalb der Verwaltungsschale (vgl. DIN SPEC 9134) definiert und abgelegt werden, konnte diesbezüglich ein Teilkonzept entwickelt werden, welches die modulare Zertifizierung von Maschinengruppen ermöglichen soll.

Ein Verbund von Maschinen kann nach diesem Konzept genau dann automatisch als sicher bezogen auf spezifische Sicherheitsfunktionen bezeichnet werden, wenn ein Profil<sup>1</sup> existiert, welches ebendiese Sicherheitsfunktion beschreibt. Die Sicherheitsfunktionen müssen von allen Maschinen im Verbund implementiert sein. Existieren im Verbund Maschinen, welche eines der benötigten Profile nicht implementiert haben oder deren Profil veraltet ist, muss qualifiziertes Personal die nicht vollständig abgedeckten Sicherheitsrisiken manuell bewerten. Die manuell vorgenommenen Bewertungen der nicht automatisch als sicher einzustufenden Anlagenkonfigurationen werden zentral gespeichert. Damit ist die geprüfte Anlagenkonfiguration auf Basis der in der Verwaltungsschale dynamisch neu hinterlegten Sicherheitsparameter ebenfalls für zukünftige Betrachtungen verfügbar. Diesen Prozess automatisiert abbilden zu können ist Ziel der Arbeitsgruppe.

Im Folgenden wird dieses Konzept sowie die Umsetzung anhand der **SmartFactory**<sup>KL</sup> Industrie 4.0-Anlage erläutert.

# 2. Status Quo

## 2.1. Anforderungen an Safety innerhalb von Industrie 4.0-Produktionsanlagen

Durch den steigenden internationalen Wettbewerb und immer komplexere Produkte sind die innerhalb der industriellen Fertigung eingesetzten Produktionsanlagen ebenfalls von einer stetig wachsenden Komplexität geprägt. Bereits heute übersteigt ebendiese Komplexität eine Schwelle, ab der sie durch den industriellen Anwender nicht mehr beherrschbar ist. Die Ursachen dieser Entwicklung sind vielfältig. Explizit zu nennen sind dabei die durch den steigenden Wettbewerb geforderte hohe Verfügbarkeit, die flexible Adaption neuer Technologien und die Massenfertigung kundenindividueller Produkte in Losgröße 1 aufgrund von gestiegenen Kundenanforderungen. Daher müssen Konzepte entwickelt werden, mit deren Hilfe die wahrgenommene Komplexität der Anlage durch eine Verschiebung von Aufgaben in die Automatisierungstechnik reduziert werden kann.

Ein solches der Industrie 4.0 inhärentes Konzept ist die fortlaufende Modularisierung und Flexibilisierung von Fertigungsprozessen. Auf Ebene der funktionalen Steuerungen wurden in der Vergangenheit umfangreiche Konzepte, insbesondere durch die **SmartFactory**<sup>KL</sup>-Systemarchitektur [SF1.1:04/16] beschrieben und anhand von praktischen Anwendungen validiert. Informationen, aus denen Mehrwerte generiert werden können, sind in Echtzeit verfügbar. Durch diese Modularisierung und Flexibilisierung von Produktionsanlagen kann zwar einerseits die Komplexität der Gesamtanlage gekapselt und dadurch beherrschbar gemacht werden, andererseits entsteht jedoch ein erhöhter Aufwand, den innerhalb der Maschinenrichtlinie (2006/42/EG bzw. 9. ProdSV) definierten Sicherheitsanforderungen gerecht zu werden.

Der notwendige erste Schritt bei der Entwicklung modularer Anlagen im Hinblick auf sicherheitstechnische Anforderungen ist es, die dedizierten Fertigungsmodule eigensicher zu gestalten. Dabei wird jedes Produktionsmodul als vollständige Maschine im Sinne der 2006/42/EG Art. 2 betrachtet und zertifiziert. Dieses Vorgehen unterscheidet sich nicht von dem Zertifizierungsprozess statischer Anlagen und wird deshalb im Folgenden nicht weiter betrachtet. Problematisch ist bei der sicherheitstechnischen Betrachtung vielmehr die Verkettung der eigensicheren Module im operativen Einsatz<sup>2</sup>. Bei dem Umbau einer modularen Fertigungslinie kann es jedes Mal zu neuen Abhängigkeiten an den Schnittstellen (mechanisch, elektrisch, informationstechnisch) zwischen den eigensicheren Modulen kommen, welche eine erneute sicherheitstechnische Betrachtung erzwingen. Eine Prüfung erzwingen alle Schnittstellen, welche einen neuen sicherheitstechnisch relevanten Zusammenhang, also ein bisher nicht betrachtetes Risiko für den Anwender, induzieren.

<sup>1</sup> Definition von Profil, siehe Kapitel 4

<sup>2</sup> Zur Verkettung von Maschinen vgl. Kapitel 2.2

Aus diesen Überlegungen ergibt sich, dass die Steigerung der Flexibilität und die Modularisierung der Produktionsanlagen zwar vielen der angesprochenen neuen Anforderungen an die industrielle Fertigung Genüge tun, jedoch im Bereich der Safety neue Probleme hervorrufen. Um die existierenden Anforderungen an die Safety industrieller Anlagen zu erfüllen – unabhängig davon, welche Maschinen-Typen verwendet werden – werden neue, adaptive Safety-Konzepte notwendig.

Eine notwendige Voraussetzung für ein adaptives Safety-Konzept ist ein modulübergreifendes Schnittstellen-Informationsmodell. Dadurch wird es ermöglicht, die zur Zertifizierung notwendigen Modulspezifikationen einem zur Überprüfung von Sicherheitsmerkmalen bereitgestellten Service innerhalb der Geschäftsprozessschicht des RAMI 4.0 verfügbar zu machen. Die **SmartFactory<sup>KL</sup>** verwendet bereits ein Schnittstellen-Informationsmodell auf Basis von OPC-UA [SF-2.1:04/17], gezeigt in Abbildung 1. Dies beschreibt Daten- und Informationsflüsse ohne spezifisch auf Maschinen-Sicherheit einzugehen. Die Industrie beginnt in VDMA Arbeitsgruppen [VDMA17] Informationsmodelle zu formulieren. Dieses Whitepaper zielt darauf ab, einen branchenübergreifenden Baustein für bestehende und künftige Companion Specifications zu liefern, welcher die Interoperabilität in modularen Produktionsanlagen weiter verbessert und den Aufwand bei der Inbetriebnahme von verketteten Maschinen im administrativen Bereich verringern soll.

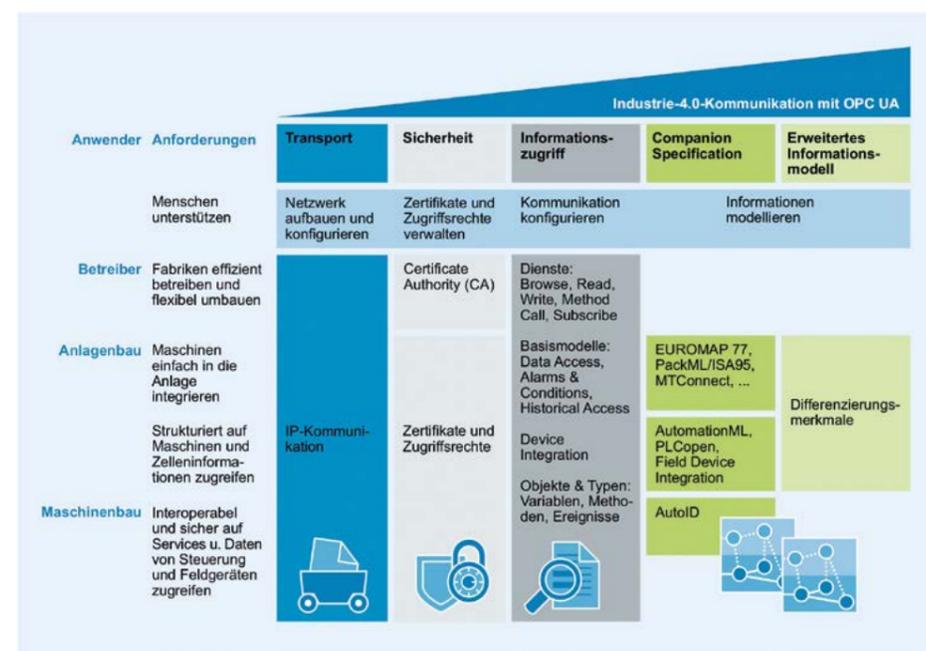


Abbildung 1:  
 OPC UA Informationsmodell

## 2.2. Status Quo – Maschinensicherheit modularer Anlagen

**Existierende Normen, wie z. B. DIN EN ISO 13857, beschreiben ausschließlich die Sicherheitsaspekte statischer Anlagen. Diese sind auf flexible, vernetzte Anlagen aufgrund der bereits beschriebenen neuen Herausforderungen nur eingeschränkt übertragbar.**

Eine Verkettung von Modulen zu einer Anlage ist genau dann als eine Gesamtheit von Maschinen i.S. der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG zu betrachten, wenn ein produktionstechnischer<sup>3</sup> und ein sicherheitstechnischer<sup>4</sup> Zusammenhang zwischen den verketteten Modulen besteht (Vgl. [BMAS11]). Sind diese Zusammenhänge nachgewiesen, so muss die verkettete Anlage als Gesamtheit beurteilt werden und der Betreiber übernimmt rechtlich die Rolle des Herstellers mit allen Pflichten. Dazu gehört die Erstellung einer Risikobeurteilung, aufgrund derer anschließend eine Konformitätserklärung erstellt werden muss. Eine Risikobeurteilung nach Anhang I 2006/42/EG besteht aus einer Risikoanalyse, in der die Gefährdungspotentiale identifiziert werden und einer Risikobeurteilung, in der diese bewertet werden.

Um die Zuverlässigkeit einer Sicherheitsfunktion beschreiben und in einer Gefährdungsbeurteilung bewerten zu können, wird im Folgenden der Performance Level (PL) verwendet. Dabei handelt es sich um ein technologieneutrales Konzept, welches auf mechanische, elektrische und hydraulische Sicherheitslösungen angewandt werden kann und in der EN ISO 13849-1 festgehalten ist. Der PL ist in fünf Kategorien von a (niedrigster Beitrag zur Risikoreduzierung) bis e (höchster Beitrag) gegliedert, welche das mindestens zu erreichende Maß an Sicherheit beschreiben. Bestimmt wird der erforderliche PLr (Performance Level required) anhand der drei Kriterien „Schwere der Verletzung“, „Häufigkeit und Aufenthaltsdauer“ sowie „Möglichkeit zur Vermeidung der Gefährdung“. Der erreichte PL ergibt sich hingegen aus dem Zusammenspiel von MTTF<sup>5</sup>-Werten, dem Diagnosedeckungsgrad, der durchschnittlichen Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Ausfalls je Stunde, der Redundanz sowie dem Fehler gemeinsamer Ursache.

Um bereits heute die Modularität einer Anlage, beispielsweise für Serienmaschinen, zu ermöglichen, werden alle möglichen Varianten/Konfigurationen betrachtet, bewertet und validiert. Dies setzt voraus, dass alle Module, deren sicherheitstechnischen Eigenschaften bekannt sind, und das Vorgehen, wie auch die Ergebnisse, durch einen Verantwortlichen dokumentiert und validiert werden. Dieses Vorgehen ist für modulare I4.0 Anlagen nur bedingt zielführend. Durch die sich ständig ändernden Technologien und die Forderung nach Losgröße 1, kann vorab nicht abgeschätzt werden, welche Anlagenkonfigurationen in der Zukunft benötigt werden. Durch die

<sup>3</sup> Als Gesamtheit angeordnet, als Gesamtheit wirkend oder als Gesamtheit betätigt.  
<sup>4</sup> Ein Ereignis einer Maschine kann zu einer Gefährdung in einer anderen Maschine führen.  
<sup>5</sup> Mean Time To Failure

unterschiedlichen Sicherheitsprotokolle verschiedenster untereinander konkurrierender Anbieter am Markt wird zusätzlich die Überschaubarkeit aller möglichen Interaktionen zwischen Maschinen und Anwendungen auf höheren Ebenen erschwert.

Ziel der Arbeitsgruppe ist es nicht, ein einheitliches Sicherheitsprotokoll zu definieren oder zu entwickeln. Vielmehr werden auf einer abstrakteren Ebene Anforderungen gesammelt, um mit allen am Markt erhältlichen und zukünftigen Protokollen adaptive Safety zu realisieren. In diesem Whitepaper werden im Rahmen eines Konzeptes Anforderungen an Sicherheitsfunktionen unter Berücksichtigung der Komplexität und im Zusammenspiel bestehender Technologien dargestellt.

### 2.3. Safety innerhalb der SmartFactory<sup>KL</sup> Industrie 4.0-Systemarchitektur

Die Technologie-Initiative **SmartFactory<sup>KL</sup>** demonstrierte gemeinsam mit ihren Partnern bereits auf der Hannover Messe 2014 anhand einer Produktionsanlage, wie sich Industrie 4.0-Paradigmen herstellerunabhängig mit bestehenden Technologien realisieren lassen (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2:  
Die **SmartFactory<sup>KL</sup>**  
Industrie 4.0-  
Produktionsanlage

Dedizierte Fertigungsmodule mit eigener Steuerung übernehmen hierbei die Durchführung einzelner Prozessschritte. Jedes dieser Fertigungsmodule stellt eine vollständige Maschine nach MRL dar und besitzt jeweils eine eigene CE-Konformität. Wie bereits eingangs erwähnt, erfordert die Erstellung eines Maschinenverbundes aus diesen Fertigungsmodulen in gewissen Fällen eine erneute sicherheitstechnische Betrachtung der Gesamtheit aufgrund von existierenden relevanten Schnitt-

stellen. Aus dem Verbund von mehreren CE-konformen Fertigungsmodulen leitet sich dementsprechend noch keine Gesamt-CE-Konformität für den entstehenden Maschinenverbund ab. Die gesamte Industrie 4.0-Anlage der Technologie-Initiative **SmartFactory<sup>KL</sup>** beruht auf Paradigmen wie Plug&Produce, vertikale Vernetzung und dezentrale Produktionssteuerung, um eine individualisierbare Produktion in Losgröße 1 „on demand“ zu ermöglichen. Durch diese Paradigmen und eine intelligente Nachbarschaftserkennung können einzelne Module während des Betriebs ausgetauscht werden, ohne die Fertigung nennenswert zu beeinflussen. In der Praxis muss jedoch bei der Änderung der Konfiguration einer Maschinengruppe eine sicherheitstechnische Bewertung erfolgen. Diese Neubewertungen stehen dem Ziel der Flexibilität entgegen und bilden so einen Flaschenhals.

Die Herausforderung innerhalb dieses Kontextes ist es, möglichst automatisiert zu prüfen, ob nach dem Zusammenfügen zweier oder mehrerer Module eine erneute Betrachtung der Safety notwendig ist. Eine Gesamtkonformität ist gegeben, wenn die Module sicherheitstechnisch voneinander unabhängig sind, insbesondere dann, wenn es sich bei dem Verbund um keine verkettete Anlage handelt (vgl. Kapitel 2.2). Bestehen hingegen Abhängigkeiten, ist nach heutigem Stand der Technik eine erneute Betrachtung notwendig. Dabei werden nur die Sicherheitsrisiken betrachtet, die durch die Zusammenführung der Module und die damit entstehenden Schnittstellen hervorgerufen werden. Dies bedeutet nicht, dass sich durch die Schnittstelle kein erhöhtes Risiko innerhalb eines vorher eigensicheren Moduls ergeben kann. Die Anforderungen an eine Analyse bezüglich der Konformität eines solchen Maschinenverbundes umfassen also die Fragen,

- 1) ob es sich um eine verkettete Maschine handelt und
- 2) wenn ja, welche sicherheitstechnischen Abhängigkeiten voneinander bestehen und
- 3) welche Konsequenzen sich aus der Bewertung der sicherheitstechnischen Abhängigkeiten ergeben?

## 3. Konzept

### 3.1. Anforderungen

Für die Erreichung einer hoch flexiblen Fertigungsanlage mit der unterschiedlichste Kundenaufträge bearbeitet werden können (vgl. Mass Customization), kann es erforderlich sein, die Zusammenstellung der Fertigungsmodule häufig zu wechseln. Ziel ist es hierbei, dass beliebige Kombinationen von I4.0 Maschinenmodulen verschiedenster Hersteller automatisch einen CE-konformen Maschinenverbund ergeben. Für diesen Zertifizierungsprozess ergeben sich auszugswise die in der folgenden Tabelle zusammengefassten Pflichten für den Hersteller der verketteten Anlage:

| MRL-Pflichten            | Grundlage                     |
|--------------------------|-------------------------------|
| Risikobeurteilung        | MRL 2006/42/EG Anhang I       |
| Maschinenkennzeichnung   | MRL 2006/42/EG Anhang I.1.7.3 |
| Betriebsanleitung        | MRL 2006/42/EG Anhang I.1.7.4 |
| Konformitätserklärung    | MRL 2006/42/EG Anhang II      |
| CE-Kennzeichnung         | MRL 2006/42/EG Anhang III     |
| Technische Dokumentation | MRL 2006/42/EG Anhang VII     |

Tabelle 1:  
 Rechtliche Pflichten  
 bei der Verkettung von  
 modularen Anlagen

Um die automatische Erfüllung dieser Anforderungen zu ermöglichen, müssen mehrere grundlegende Voraussetzungen erfüllt sein. Diese sind zum Beispiel CE-konforme Maschinenmodule mit zur Verfügung gestellter „Basis“-Risikobeurteilung. Außerdem ist eine eindeutige sowie vollständige Schnittstellenbeschreibung eines jeden Maschinenmoduls erforderlich, vgl. DIN SPEC 91345: RAMI 4.0. Die Maschinenmodule wiederum müssen untereinander und mit den zentralen Servern der Fertigung kommunizieren können. Für den Einsatz von Maschinenmodulen verschiedenster Hersteller bedarf es eines service-orientierten, plattformunabhängigen Kommunikationsprotokolls, wie es z. B. bei OPC UA über TCP/IP realisiert wird. Mit dem Entfernen und Hinzufügen von Maschinenmodulen wird automatisch die Risikobeurteilung an die geänderte Produktionslinie angepasst, die manuelle Änderung der Risikobeurteilung entfällt, wodurch Ressourcen eingespart werden.

Baugruppen müssen analog zu den Maschinenmodulen die gleichen übergeordneten Voraussetzungen (Schnittstellenbeschreibung, service-orientierte Kommunikation) erfüllen.

### 3.2. Konzept zur automatischen Konformitätsbewertung

Das folgende Konzept beschreibt, wie durch die Umsetzung und Nutzung der beschriebenen Anforderungen eine automatische Bewertung von verketteten Anlagen erfolgen kann. Dabei werden verschiedene Phasen unterschieden, welche das manuelle Vorgehen bei einer Konformitätsbewertung operationalisieren und für eine informationstechnische Verarbeitung handhabbar machen.

- Discovery-Phase**  
 Die Discovery Phase, wie sie in diesem Kontext verstanden wird, ist mit der von OPC UA vergleichbar. Es wird eine Datenverbindung mit dem neuen Maschinenmodul aufgebaut, dieses identifiziert und die Moduleigenschaften übermittelt. Die Moduleigenschaften sind innerhalb der Verwaltungsschale abgelegt und dienen als Basis der weiteren Konformitätsprüfung. Innerhalb der Discovery-Phase müssen nicht alle Inhalte der Verwaltungsschale übermittelt werden, da nicht Safety-relevante Teilmodelle der Verwaltungsschale für eine automatische Konformitätsbewertung nicht infrage kommen. Es genügt also, lediglich das Manifest des Headers zu übermitteln, welches als eindeutig aufzufindendes Inhaltsverzeichnis zu allen Informationen, Daten und Funktionen innerhalb der Verwaltungsschale dient (Vgl. BMWi 2016).
- Validierungsphase**  
 Die Validierungsphase besteht im Wesentlichen aus zwei Schritten. Der Feststellung der Konfiguration der neuen Produktionsanlage und der Validierung der Konfiguration anhand von Profilen. Diese Profile stellen Teilmodelle der Verwaltungsschale dar und enthalten alle sicherheitstechnisch relevanten Informationen des Moduls. Somit bilden sie die Basis für den weiteren Bewertungsprozess. Bei der Feststellung der Konfiguration wird ermittelt, welches Maschinenmodul an welchem Modul angedockt ist. Diese Information ist erforderlich, damit die Schnittstellen bzw. die Anforderungen an die Schnittstellen der einzelnen Module korrekt bewertet werden können. Aus der Kombination von Modulen, Arbeitsprozessen und Werkstück (Material) kann sich ein unterschiedliches Risikopotenzial und daraus unterschiedliche Anforderungen an die Sicherheitsfunktion – klassifiziert durch den Performance Level – ergeben.
- Plausibilitäts-Check**  
 Im Anschluss werden die Kommunikationsparameter zur sicheren zyklischen Kommunikation aus der Verwaltungsschale ausgelesen und einer Plausibilitätsprüfung unterzogen. Diese gleicht beispielsweise Netzwerk-Timings ab und gewährleistet, dass sichere Reaktionszeiten in allen Sicherheitsfunktionen eingehalten werden können.

- **Digitale Konformitätsbewertung (Nachweis CE-Konformität)**

Parallel zum Plausibilitäts-Check findet im Anschluss der Validierungsphase die digitale Konformitätsbewertung statt. Dazu werden die zwischen beteiligten Komponenten ausgetauschten Informationen in Form von Profilen (Konfiguration der Maschinenmodule, Maschinenmodul IDs mit Modul- und Safety-Moduleigenschaften, geplanter Arbeitsprozess etc.) an einen Cloudservice übermittelt und/oder während der Kommunikation geprüft.

Unter Cloud müssen nicht zwangsweise Server verstanden werden, die „irgendwo“ aufgestellt sind, es kann sich auch um örtliche, auf dem Werksgelände befindliche Rechenanlagen oder hochsichere Cloud-Lösungen handeln. Neben dem Schutz der Vertraulichkeit der Daten bei der Übertragung und bei der Speicherung, ist bei hochsicheren Cloud-Lösungen ein technischer Schutz der Vertraulichkeit während der Verarbeitung der Daten, also während der Berechnungen im Prozessor, bei der volatilen Speicherung im RAM etc. erforderlich. Gemeint sind Schutzmaßnahmen wie etwa die Software Guard Extensions (SGX) bei Intel-Prozessoren, die Secure Encrypted Virtualization (SEV) bei AMD oder die Sealed Cloud von Unicon<sup>6</sup>.

Unter Berücksichtigung der Eigenschaften der einzelnen Maschinenmodule, Schnittstellenanforderungen, Anforderungen resultierend aus der Verkettung von bestimmten Maschinenmodulen usw. werden die erforderlichen Performance Level hinsichtlich Erfüllung durch die Maschinenmodule abgeglichen, vgl. SISTEMA. Des Weiteren werden die nach Maschinenrichtlinie geforderten Unterlagen (z. B. Risikobeurteilung) automatisch aus den Safety Profilen der beteiligten Module abgeleitet und erstellt, entsprechend abgespeichert und archiviert. Kommt der Cloudservice zu dem Schluss, dass die Anforderungen hinsichtlich Maschinensicherheit von dem Maschinenmodulverbund erfüllt werden, wird die Konformitätserklärung erstellt und ebenfalls archiviert sowie Keys generiert. Die Keys beinhalten die logischen IDs aller beteiligten Safety Aktoren und Sensoren, die ID der Sicherheitssteuerung, die Typologie und den erreichten Performance Level. Die Keys werden an die jeweiligen Sicherheitssteuerungen übermittelt und dort abgelegt. Die Sicherheitssteuerung überprüft die Erreichbarkeit der logischen Teilnehmer. Mit der Applizierung der Sicherheitsfunktionen mit den vorgegebenen Teilnehmern wird die Richtigkeit des jeweiligen Key überprüft. Diese Informationen werden seitens Sicherheitssteuerung mit Paketlaufzeiten angereichert und es wird ein neuer Schlüssel erstellt. Dieser Schlüssel wird zurück in die Cloud übertragen, geprüft und archiviert.

- **Freigabe des Maschinenverbundes**

Ist der beschriebene Prozess vollständig und erfolgreich durchlaufen, erteilt der Cloudservice der Fertigungsanlage die Freigabe, sich in den Bereitschaftsmodus zu versetzen.

Für das Aufrechterhalten des heutigen hohen Maschinensicherheitsniveaus, und um gleichzeitig die Möglichkeiten neuer Technologien zu nutzen, wurde in diesem automatisierten Konzept eine 2-Wege-Kommunikation realisiert, wie man diese z. B. von Rettungskräften kennt. Die automatisch erstellten Unterlagen sind jederzeit abrufbar und könnten bei Bedarf für die Prüfung durch einen Experten zur Verfügung gestellt werden.

<sup>6</sup> Einsehbar unter [www.unicon.de](http://www.unicon.de)

## 4. Realisierung innerhalb der SmartFactory<sup>KL</sup>

Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht die beschriebenen Phasen zur automatisierten Einbindung eines neuen Maschinenmoduls in eine Produktionslinie mithilfe eines Ablaufdiagramms:

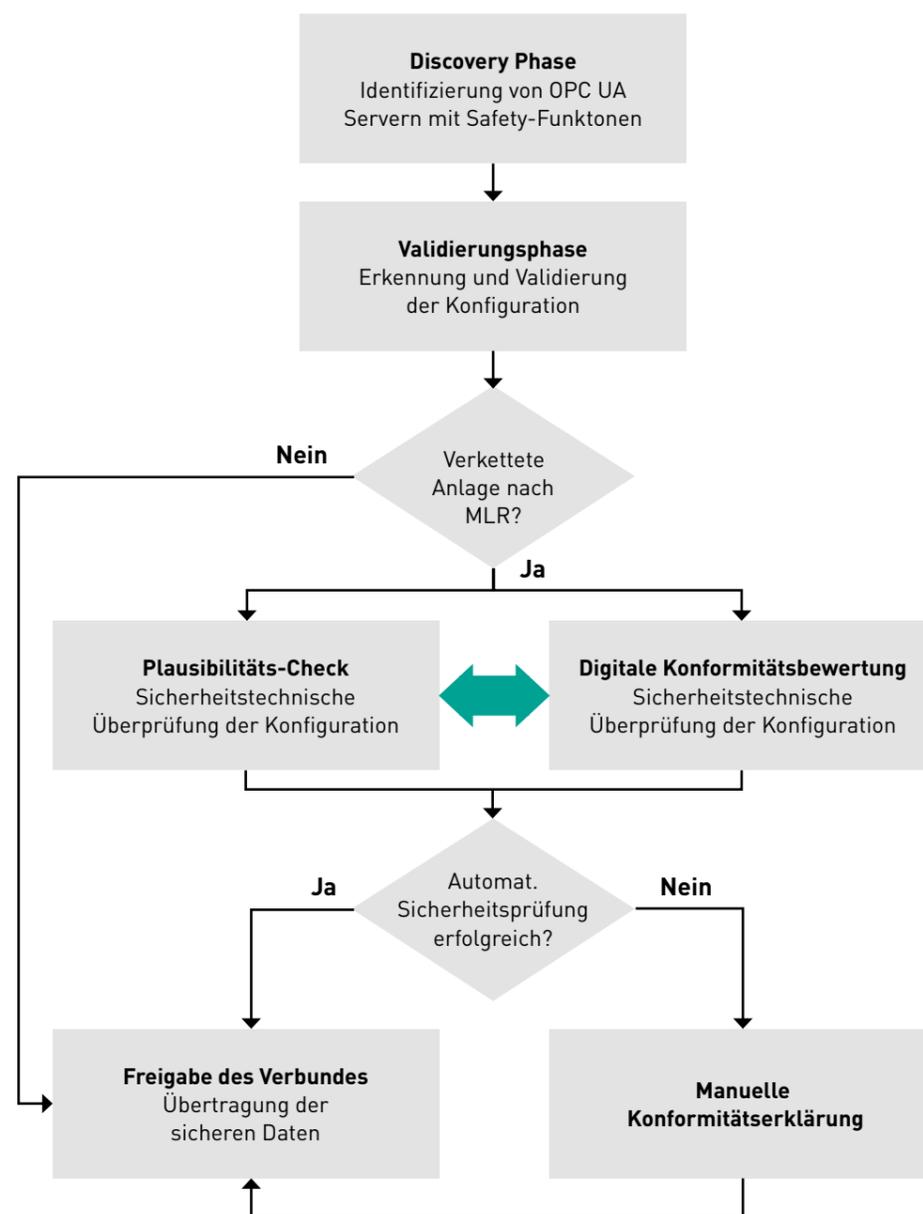
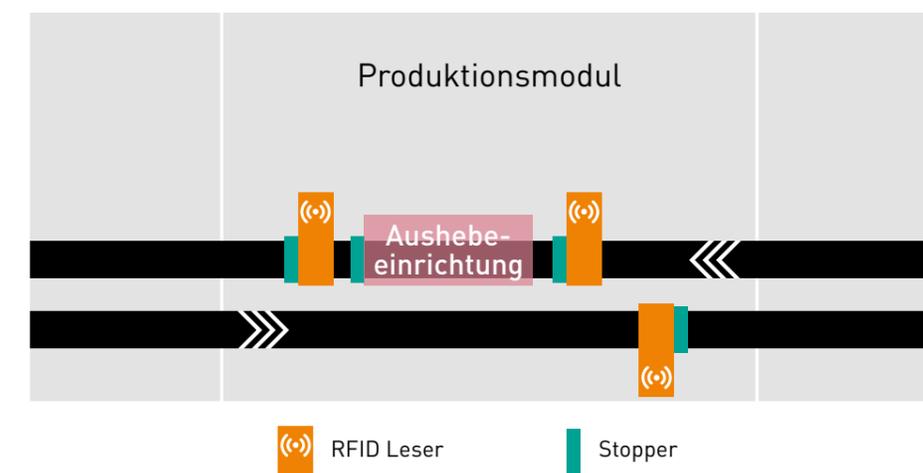


Abbildung 3:  
Phasendiagramm

### 4.1. Aufbau der Module und Anwendungsfälle

Die betrachteten Module der **SmartFactory<sup>KL</sup>** sind bezüglich ihres inneren Werkstücktransports identisch. Der Transport erfolgt über zwei gegenläufige Transportbänder, die jeweils an ihren Enden durch Schleusen gesichert sind. Die durch pneumatische Zylinder gesteuerten Schleusen können die Zustände „offen“ und „geschlossen“ einnehmen. Die nachfolgende Darstellung beschreibt die Transporteinrichtung der **SmartFactory<sup>KL</sup>**-Module:

Abbildung 4:  
Transporteinrichtung  
der Produktionsmodule



Als physische Schutzeinrichtungen sind an jedem Modul Schutz-/ oder Wartungstüren sowie Not-Halt-Schalter verbaut worden. Es wurde bereits ein notwendiger Schritt in Bezug auf modulare Safety realisiert, indem die in örtlicher Hinsicht zugehörigen Module dynamisch ihren Not-Halt-Kreis erweitern. Ergänzend zu den bereits beschriebenen Modulen existieren spezielle Übergabemodule (im Folgenden Docking-Stationen genannt), die den Werkstücktransport am Ende einer Produktionslinie zum fahrerlosen Transportsystem „Robotino“ realisieren. Diese Docking-Stationen besitzen selbst keine Schleusen, da keine unmittelbare Gefährdung durch die funktionale Baugruppe dieses Moduls erkennbar ist. Um eine mögliche Gefährdung durch Eingreifen in ein benachbartes Modul zu verhindern, wurde ein Schutztunnel realisiert, welcher direkt an die Schleuse des Nachbarmoduls angrenzt und aufgrund seiner Höhe ein Durchgreifen unmöglich macht. Der Robotino selbst verfügt über einen Not-Halt-Schalter, welcher den Robotino allein oder die ganze Fertigungslinie stillsetzt. Alle relevanten Safety-Funktionen werden drahtlos an das Safety-System angebunden. Da während der Phase des Andockens an einer

der verschiedenen Produktionslinien ein Werkstücktransport zwischen Linie und Robotino stattfindet, ist dieser, in sicherheitstechnischer Betrachtung, temporär der entsprechenden Linie zuzuordnen. Daher muss der Not-Halt-Schalter des fahrerlosen Transportsystems während der Andockphase bis zum Abdocken von der Linie in den Not-Halt-Kreis der entsprechenden Linie integriert werden. Die Zugehörigkeit des Robotinos zu einem der Nothaltkreise wird durch die aktuelle Position (redundante Ortsposition) ermittelt und durch verschiedenfarbige, ansteuerbare LED-Ringe signalisiert. Hierbei wird jeder Maschinenlinie eine spezifische Farbe zugeordnet, wodurch die Zugehörigkeit dem Anwender visuell dargestellt wird.

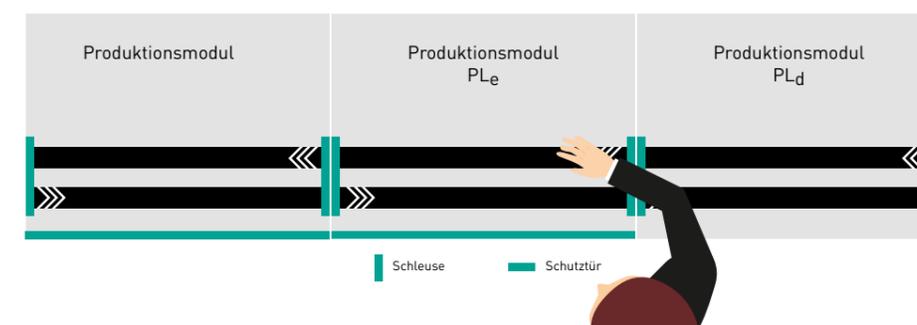
Die weiteren Ausführungen beschränken sich auf die Schnittstellen bei der Verkettung der beschriebenen Anlagenmodule. Die folgenden Abbildungen zeigen die realisierten Schutzeinrichtungen „Schleuse“ und „Schutztunnel“:



Abbildung 5:  
 Schutztunnel und Schleuse

Aus diesem beschriebenen Aufbau der Module und die daraus folgenden Eigenschaften einer Verkettung aus ebendiesen, ergeben sich verschiedene Fälle, welche einer sicherheitstechnischen Betrachtung bedürfen.

Abbildung 6: Fall 1



**Fall 1:**  
 Eine Problematik bei benachbarten Maschinenmodulen ergibt sich, wenn versucht wird, über das Öffnen einer Schutztür durch die Schleusen auf ein anderes Modul zuzugreifen:

Ein solcher Fall muss bei der automatischen digitalen Konformitätsbewertung betrachtet werden. Sollten benachbarte Module unterschiedliche PL haben, können sich Einschränkungen ergeben. So könnte sich das Modul mit dem höheren Performance-Level auf die sicherheitstechnische Bewertung des Moduls mit dem niedrigeren Performance-Level auswirken.

**Fall 2:**  
 Ein weiterer denkbarer Fall liegt vor, wenn ein Modul aufgrund von Bewegungsnachlauf eine Türzuhaltung besitzt und das Nachbarmodul nicht. Dieser Fall folgt direkt aus den Überlegungen in Fall 1 und ergibt sich aufgrund unterschiedlicher PL der Module. Wenn die Wartungs-/ oder Schutztür des Moduls ohne Zuhaltung geöffnet wird, müssen die Schleusen, falls ein Modul mit einem PLr größer als der PL des betrachteten Moduls angrenzt, unmittelbar schließen, um ein Durchgreifen während des Betriebs des Nachbarmoduls zu verhindern. Sind die PLr aller angrenzenden Module gleich oder geringer als der des betrachteten Moduls ohne Zuhaltung ist ein sofortiges Schließen der Schleusen nicht notwendig.

**Fall 3:**  
 Befinden sich benachbarte Module in unterschiedlichen Betriebsarten (z.B. Hand-, Automatikbetrieb, Aus- oder Abdocken), so liegt ein weiterer Fall von einer möglichen zusätzlichen Gefährdung im verketteten Betrieb vor. In diesem Fall sind die Schleusentüren zwischen den Modulen grundsätzlich geschlossen zu halten.

## 4.2. Sicherheitstechnische Profildefinition

Durch den beschriebenen Aufbau der Module und die sicherheitstechnische Betrachtung der Schnittstellen sowie der sich daraus ergebenden Gefährdungen können verschiedene Profile definiert werden, welche die automatische Konformitätsbewertung bei der Verkettung der Module ermöglichen sollen. Für ein Modul der **SmartFactory<sup>KL</sup>** ergeben sich, unabhängig davon um welches Modul es sich handelt, die Profile „Performance-Level“, „Not-Halt“, „Schleusen“ und „Schutztür“.

### **Sicherheitsprofil Performance-Level**

Über die Risikobeurteilung wird der PLr des Maschinenmoduls ermittelt, der bei einer verketteten Maschine über das Profil ausgewertet werden muss. Da es sich wie eingangs erwähnt um eigensichere Module handelt, gilt  $PLr = PL$ . Damit entsprechen alle verwendeten Schutzmaßnahmen innerhalb und an den Schnittstellen des Moduls den sich durch die Funktionen des Moduls ergebenden Anforderungen.

Profildefinition Performance-Level:  $PL = PLr = x \in [a, b, c, d, e]$

### **Sicherheitsprofil Not-Halt**

Der Not-Halt-Schalter muss zwingend in jedem Modul vorhanden sein. Daher besitzt jedes Modul auch ein Sicherheitsprofil Not-Halt. Der Not-Halt wirkt auf das Modul selbst und im Falle einer verketteten Maschine auf die gesamte Linie.

Ein rotes Leuchten am Schalter signalisiert, dass sich der Not-Halt-Schalter im aktiven Zustand befindet. Um den Schalter gibt es einen zusätzlichen zweiten Leuchtring, dessen Farbe die funktionale Zugehörigkeit anzeigt. So haben Not-Halt-Schalter, die funktional derselben Maschinengruppe zugeordnet sind, dieselbe Farbe.

Profildefinition Not-Halt:

- Not-Halt vorhanden

### **Sicherheitsprofil Schutztür**

Die Schutztür ermöglicht den Zugriff auf das Innere des Moduls. Falls sich Gefahrenstellen oder gefahrbringende Bewegungen im Modul befinden, muss beim Öffnen der Schutztür die Anlage stillgesetzt werden. Ist ein zeitgerechtes Stillsetzen nicht möglich, so ist die Schutztür mit einer Zuhaltung auszuführen.

Profildefinition Schutztür

- Schutztür vorhanden
- Zuhaltung vorhanden
- PL

### **Sicherheitsprofil Schleusen**

Der Materialtransport zwischen den Modulen erfolgt über die Schleusen. Die Schleusen lassen sich öffnen und schließen. Im geschlossenen Zustand sichert die Schleuse den Zugriff auf die gefahrbringende Bewegung ab. Geht von einem Modul keine Gefahr aus, so kann die Schleusentür entfallen. Im autarken Betrieb des Maschinenmoduls sind die Schleusen geschlossen. Befindet sich das Maschinenmodul am Ende der Linie, muss die Schleuse an der Stirnseite geschlossen sein. An den Docking-Stationen wurde keine Schleuse, sondern ein Schutztunnel realisiert, welcher aufgrund der gleichen Schutzfunktion in das Profil „Schleuse“ aufgenommen wird.

Profildefinition:

- Schleuse links vorhanden
- Schleuse rechts vorhanden
- Schleuse == Schutztunnel
- Performance Level
- Betriebsart

Wie zuvor erläutert beschreiben die Profile Aufbau, Verhalten und Schnittstellen einer Maschine. Für den Anwendungsfall ‚Schleusen‘ bedeutet dies, dass ein Profil ‚Schleuse‘ die Existenz einer physischen Schleuse voraussetzt, die in der Verwaltungsschale abgebildet ist. Es bedeutet auch, dass das Profil zur Schutztür-Überwachung implementiert sein muss.

Eine Validierung zur Laufzeit stellt sicher, dass die Maschine über die nötigen Komponenten zur Implementierung ihrer Profile verfügt, was ebenfalls aus der Verwaltungsschale ersichtlich sein muss. Ferner beschreibt das Profil das Verhalten, dass Schleusen zu schließen sind, wenn eine Schutztür entsperrt wird.

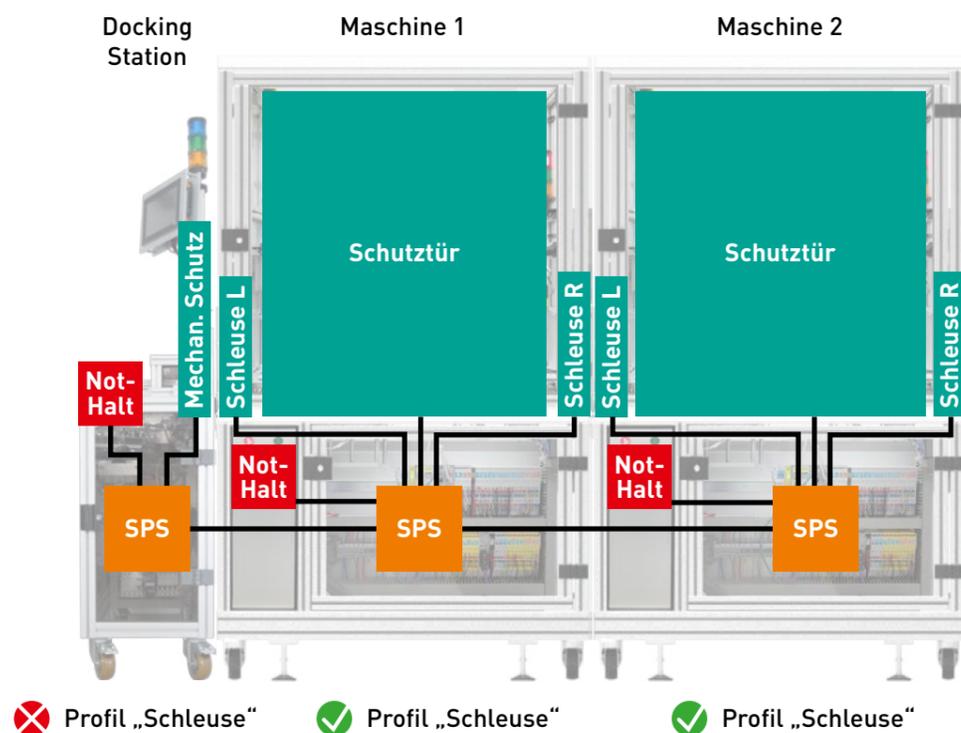


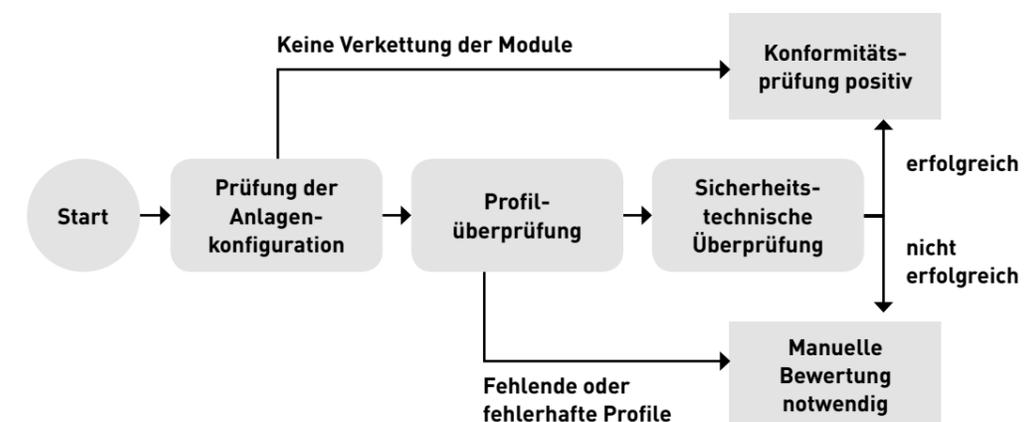
Abbildung 7:  
 Anwendungsfall Schleuse

Wenn alle Maschinen eines Verbunds das Profil implementiert haben, kann der Verbund automatisch als sicher bezogen auf Sicherheitsfunktionen, die dieses Profil benötigen, zertifiziert werden. Fehlen notwendige Informationen, muss qualifiziertes Personal die daraus möglichen Sicherheitsrisiken bewerten. Auf diese Weise werden manuell bestätigte Konfigurationen für diese Anlagenkonfiguration gespeichert und sind in Zukunft auf Basis der in der Verwaltungsschale dynamisch neu hinterlegten Sicherheitsparameter ebenfalls automatisch zertifizierbar.

### 4.3. Anwendungsfallbezogene Beschreibung der digitalen Konformitätsbewertung

Aus dem Konzept in Kapitel 3 und der Profildefinition in Kapitel 4.2 sollen nun exemplarisch die Schritte innerhalb der Validierungsphase und der digitalen Konformitätsbewertung beschrieben werden. Das nachstehende Ablaufdiagramm beschreibt die digitale Konformitätsprüfung bei der Verkettung von mehreren Maschinenmodulen zu einer Anlage:

Abbildung 8:  
 Prüfung verkettete Anlage



Im ersten Schritt muss geprüft werden, ob es sich generell um eine verkettete Anlage im Sinne der MRL handelt. Dazu wird für jedes Modul geprüft, mit welchen anderen Modulen es in einem Nachbarschaftsverhältnis steht. Wenn keine Nachbarschaftsverhältnisse bestehen, ist die Konformitätsprüfung aufgrund der eigensicher gestalteten Einzelmodule abgeschlossen. Bestehen Nachbarschaftsverhältnisse werden diese gespeichert und die Profilüberprüfung angestoßen. Folgende Abbildung veranschaulicht die Prüfung der Anlagenkonfiguration:

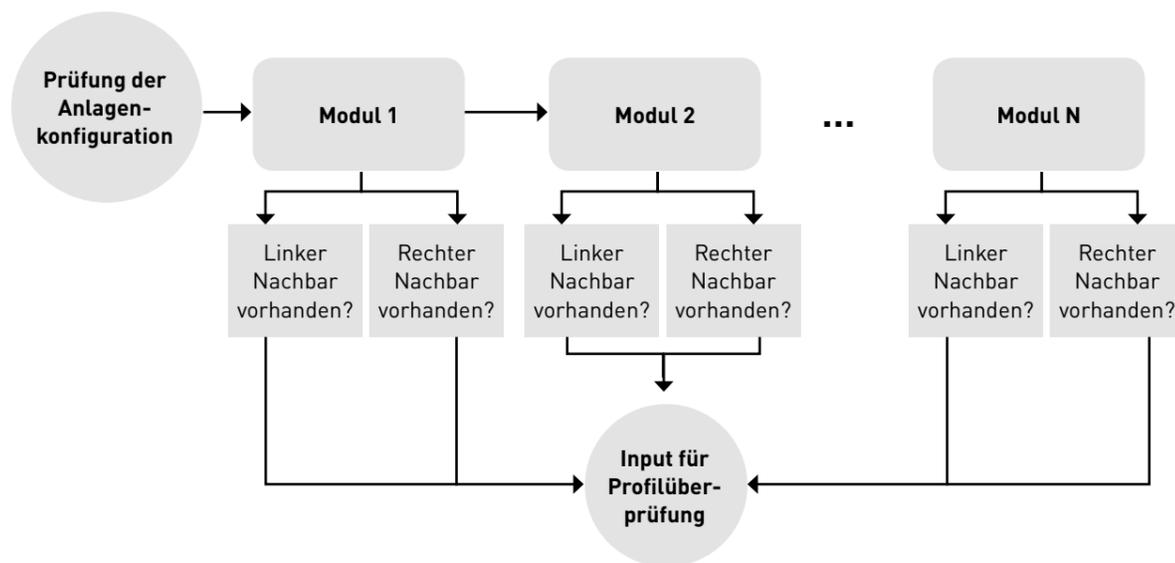


Abbildung 9:  
 Prüfung der  
 Anlagenkonfiguration

Die Profilüberprüfung findet auf verschiedenen Ebenen statt. Zunächst werden die aufgrund der Nachbarschaftsverhältnisse benötigten Profile aus den Verwaltungsschalen geladen. Ist eines oder mehrere der benötigten Profile nicht vorhanden, wird der Prozess abgebrochen und es muss eine manuelle Bewertung der Schnittstelle durchgeführt werden. Sind alle Profile vorhanden, werden diese mit den innerhalb der SPS gespeicherten Informationen abgeglichen. Existiert keine physische Repräsentation des Profils muss ebenfalls eine manuelle Prüfung eingeleitet werden. Wenn alle benötigten Profile vorhanden und aktuell sind, wird die eigentliche sicherheitstechnische Überprüfung der Schnittstellen eingeleitet. Folgende Abbildung veranschaulicht die Profilüberprüfung:

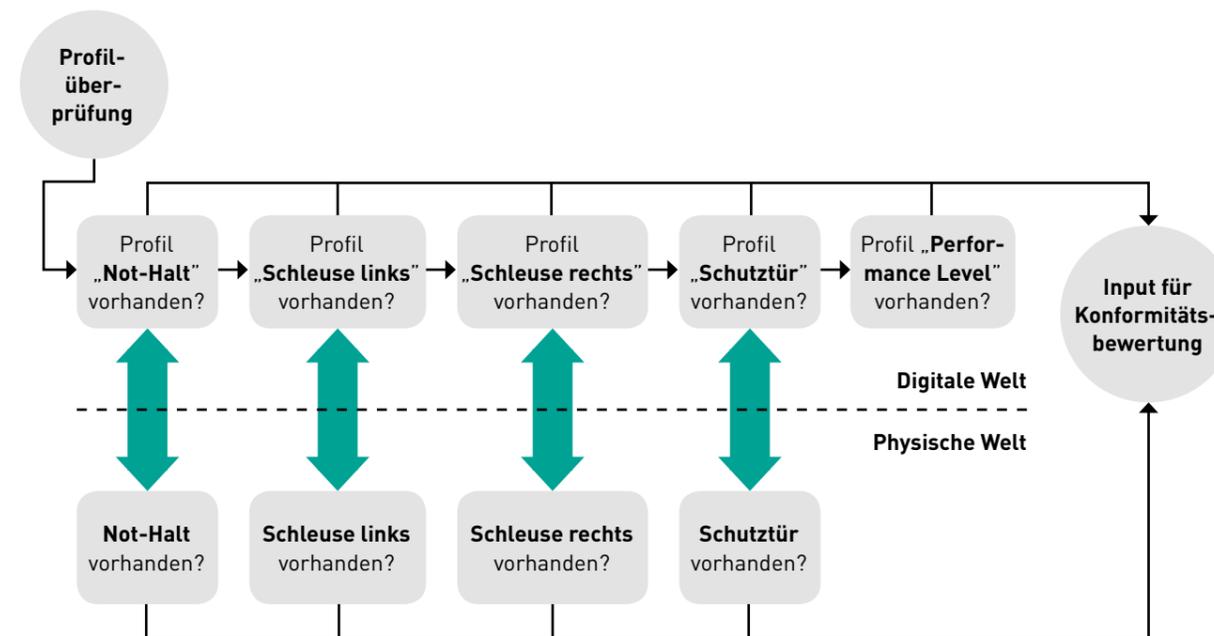
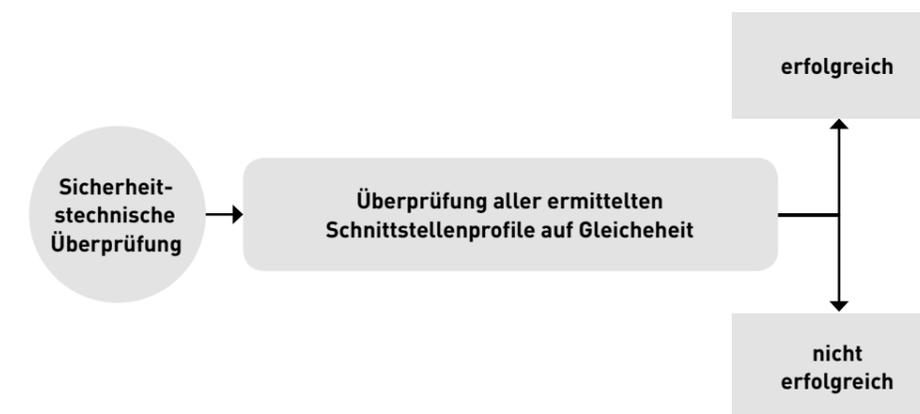


Abbildung 10:  
 Profilüberprüfung

Innerhalb der sicherheitstechnischen Überprüfung werden die geladenen und verifizierten Profile abgeglichen. Dabei kann eine automatische Konformitätsbewertung nur erfolgen, wenn die Profile an den entsprechenden Schnittstellen identisch sind. Eine Ausnahme liegt in zwei Fällen vor. Erstens, wenn eine Schleuse an einen Schutztunnel angrenzt. Dabei reicht es aus, wenn in dem Profil entweder die Instanz „Schleuse links vorhanden“ bzw. „Schleuse rechts vorhanden“ oder „Schleuse==Schutztunnel“ vorhanden ist. Im zweiten Fall sind keine Schleusen vorhanden, jedoch identische Schutztürprofile an allen angrenzenden Modulen, welche den Eingriff in potenziell gefährlichen Betriebsarten vollständig vermeiden. Die folgende Abbildung veranschaulicht die sicherheitstechnische Überprüfung:

Abbildung 11:  
 Sicherheitstechnische  
 Überprüfung



Ist die sicherheitstechnische Überprüfung nicht erfolgreich, so muss die Überprüfung der Konformität manuell erfolgen.

#### 4.4. Beispielhafte Konformitätsüberprüfung zweier verketteter Module

Abschließend soll das in Abschnitt 4.3 beschriebene Vorgehen am Beispiel zweier verketteter Module veranschaulicht werden. Es handelt sich in diesem Fall um eine verkettete Anlage mit zwei Einzelmodulen:

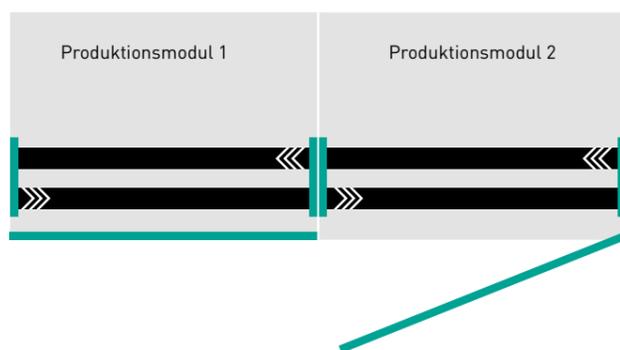


Abbildung 12:  
Verkettete Module

Die nachfolgende Tabelle fasst die vorhandenen Profile der eigensicheren Module zusammen und dient als Basis für die nachfolgende Bewertung:

| Profil            | Modul 1                    | Modul 2                      |
|-------------------|----------------------------|------------------------------|
| Performance Level | PLC                        | PLC                          |
| Not-Halt          | Vorhanden                  | Vorhanden                    |
| Schleuse links    | Schleuse rechts            | Schleuse rechts              |
| Schleuse rechts   | Schleuse links             | Schleuse links               |
| Schutztür         | Vorhanden<br>Mit Zuhaltung | Vorhanden<br>Keine Zuhaltung |
| BA                | Auto                       | Auto                         |

Aus der Prüfung der Anlagenkonfiguration ergibt sich, dass eine Verkettung vorliegt und eine Profilüberprüfung durchgeführt werden muss.

Dazu müssen alle notwendigen Schnittstellenprofile vorhanden sein.

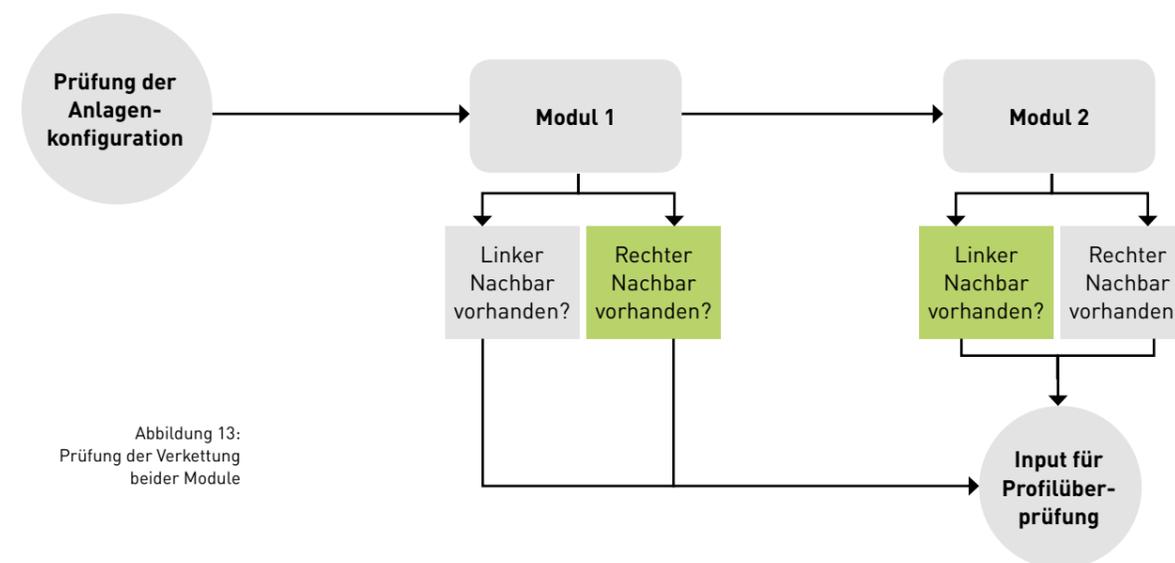


Abbildung 13:  
Prüfung der Verkettung beider Module

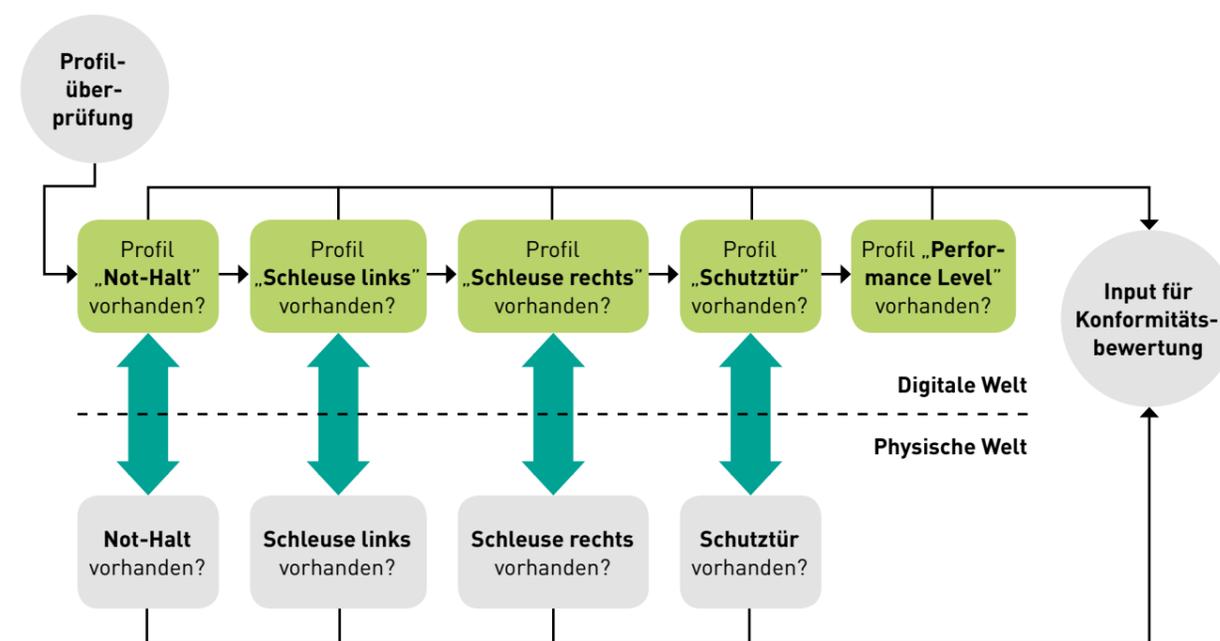


Abbildung 14:  
Profilüberprüfung der Module

Die anschließende Überprüfung der ermittelten Schnittstellenprofile zeigt, dass sich das Profil „Schutztür“ bei den beiden Modulen unterscheidet. Die Schutztür von Modul 2 besitzt keine Zuhaltung wodurch eine automatische Konformitätsprüfung an dieser Stelle nicht möglich ist.



Abbildung 15:  
 Abschluss der sicherheits-technischen Prüfung

Es muss also eine manuelle Konformitätsprüfung durchgeführt werden, bei der alle sich durch die Verkettung potenziell ergebenden Risiken betrachtet und bewertet werden müssen.

### Betriebsphase

Schleuse darf geöffnet werden, wenn alle der folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- Wenn Nachbarmodul vorhanden, müssen sich die beiden benachbarten Module in derselben Betriebsart befinden.
- Kein Nachbar vorhanden und Betriebsart Hand

Schleuse muss geschlossen werden, wenn:

- Eigene oder benachbarte Schutztür geöffnet wird (selbe BA) und Schleusenbereich frei ist

Sicher zu kommunizierende Informationen:

Vom Maschinenmodul:

| Profil    | Signal                       | Bit-Nr. |
|-----------|------------------------------|---------|
| Not-Halt  | Lokaler Not-Halt (low aktiv) | 0       |
|           | Lokaler Reset                | 1       |
| Schutztür | Schutztür geschlossen        | 2       |
|           | Zuhaltung aktiv              | 3       |
| Schleuse  | Schleuse links geschlossen   | 4       |
|           | Schleuse rechts geschlossen  | 5       |
| BA        | Manuell=0, Auto=1            | 6       |
|           | Abdock-Request               | 7       |

Zum Maschinenmodul:

| Profil   | Signal   | Bit-Nr. |
|----------|--|---------|
| Not-Halt | Globaler Not-Halt (Emergency Stop) (low aktiv) | 0       |
|          | Freigabe Maschinenlauf                         | 1       |

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

### Zusammenfassung

Dieses Whitepaper beschreibt ein Konzept zur automatischen Zertifizierung von Industrie 4.0-Produktionsmodulen. Das Ziel ist, eine höhere Flexibilität bei der Änderung von Maschinengruppen zu ermöglichen. Dabei werden Änderungen des Maschinenverbundes als sicher (MRL) akzeptiert, wenn die einzelnen Komponenten das für die übergreifende Schutzfunktion erwartete Sicherheits-Profil besitzen, in dem die Sicherheitsfunktionen beschrieben sind, und von allen Maschinen im Verbund implementiert werden. Sollten sich im Verbund Maschinen befinden, die die benötigten Profile noch nicht implementiert haben, oder sollten diese Profile veraltet sein, muss eine manuelle Neubewertung erfolgen. Diese werden in der Verwaltungsschale abgelegt und stehen der Maschinengruppe zukünftig zur Verfügung.

Die in diesem Whitepaper dargelegten Überlegungen zur automatischen Konformitätsbewertung und deren beispielhaftem Anwendungsfall bilden einen Anstoß zur Realisierung des Konzeptes in der Praxis.

### Ausblick

Das Whitepaper liefert einen Anstoß zur automatischen Zertifizierung von Maschinenmodulen, allerdings gibt es noch Arbeitspakete, die vor einer Realisierung erarbeitet werden müssen. Die Sicherheits-Profile müssen einheitlich erstellt werden, sie dürfen sich nicht von Maschine zu Maschine unterscheiden, so dass einheitliche Ind4.0-Validierungsanforderungen für eine automatische Zertifizierung in Frage kommen.

Weiterhin bildet die Cloud einen zentralen Bestandteil des Konzeptes. Damit ergeben sich allerdings auch besondere Anforderungen an diese. Es muss geklärt werden, wie die Kommunikation zwischen der Maschine und der Cloud gestaltet sein muss, damit sie den Sicherheits-Anforderungen für eine angestrebte Zertifizierung gerecht wird. Mit der Sealed Cloud von UNISCON als externem Cloudservice kann der Prozess implementiert werden, da das Thema Datensicherheit geklärt ist und alle Fragen bzgl. Zertifizierung als unabhängige und sichere Prüfung implementiert werden können. Der Zertifizierungsprozess muss hierzu noch im Detail beschrieben werden.

Die Arbeitsgruppe 1 „Smarte Infrastruktur“ der **SmartFactory**<sup>KL</sup> hat es sich auch weiter zum Ziel gesetzt, neuartige Konzepte zum Thema Sicherheit zu entwickeln und diese hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit zu bewerten.

## 6. Quellen

Scope Online: OPC UA und openSAFETY – Linien sicher automatisieren, <https://www.scope-online.de/automatisierung-steuerungstechnik/b-r--linien-sicher-automatisieren.htm>

Hanser Konstruktion 2017: Flexibler dank neuem Safety-Konzept, <https://www.hanser-konstruktion.de/news/uebersicht/artikel/flexibler-dank-neuem-safety-konzept-3137879.html>

Wirautomatisierer.de 2017: Smart-Factory-KL-Anlage um Safety-Konzept erweitert, <http://wirautomatisierer.industrie.de/top-branchennews/branchennews/smart-factory-kl-anlage-um-safety-konzept-erweitert>

Computer-Automation.de 2017: Modulare Safety in der **SmartFactory**<sup>KL</sup>, <http://www.computer-automation.de/steuerungsebene/safety-security/artikel/144904/>

TÜV Süd Product Service 2015:  
Modulare Zertifizierung für dynamisch konfigurierbare Industrie-Systeme

BMWi 2016: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2016): Struktur der Verwaltungsschale. Berlin. Online verfügbar unter [http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/struktur-der-verwaltungsschale.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/struktur-der-verwaltungsschale.pdf?__blob=publicationFile&v=6), zuletzt geprüft am 13.04.2017.

[BMAS11] Bek. d. BMAS v. 5.5.2011, IIIb5-39607-3:  
Interpretationspapier zum Thema „Gesamtheit von Maschinen“, 2011

BMWi 2016: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2016): Struktur der Verwaltungsschale. Berlin. Online verfügbar unter [http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/struktur-der-verwaltungsschale.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/struktur-der-verwaltungsschale.pdf?__blob=publicationFile&v=6), zuletzt geprüft am 13.04.2017.

[SF-1.1:04/16]: **SmartFactory**<sup>KL</sup> Systemarchitektur für Industrie 4.0-Produktionsanlagen. Whitepaper SF-1.1:04/2016, [http://smartfactory.de/wp-content/uploads/2017/08/SF\\_WhitePaper\\_1-1\\_DE.pdf](http://smartfactory.de/wp-content/uploads/2017/08/SF_WhitePaper_1-1_DE.pdf)

[SF-2.1:04/17] Exemplarische Übertragung der RAMI 4.0-Verwaltungsschale auf die **SmartFactory**<sup>KL</sup> Systemarchitektur für Industrie 4.0-Produktionsanlagen. Whitepaper SF-2.1: 04/2017, [http://smartfactory.de/wp-content/uploads/2017/11/SF\\_WhitePaper\\_2-1\\_DE-1.pdf](http://smartfactory.de/wp-content/uploads/2017/11/SF_WhitePaper_2-1_DE-1.pdf)

### **Versionshistorie**

Whitepaper SF-3.1: 04/2018

### **Herausgegeben von**

**Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V.**

Trippstadter Straße 122

67663 Kaiserslautern

**T** +49 (0)631 20575-3401

**F** +49 (0)631 20575-3402

Die Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V. (**SmartFactory<sup>KL</sup>**) ist ein gemeinnütziger Verein des öffentlichen Rechts, eingetragen im Vereinsregister Kaiserslautern.

Vereinsregisternummer: VR 2458 Kai

### **Vorstand**

Prof. Dr. Dr. h.c. Detlef Zühlke, DFKI GmbH (CEO)

Andreas Huhmann, HARTING AG & Co. KG

Dr. Thomas Bürger, Bosch Rexroth AG

Dr. John Herold, Belden Electronics GmbH

### **Wissenschaftlicher Koordinator**

Dr.-Ing. Achim Wagner

**T** +49 (0)631 20575-5237

**M** [achim.wagner@smartfactory.de](mailto:achim.wagner@smartfactory.de)