

# **Sichere & vernetzte High-Speed Automatisierung von Thermoprozessanlagen**

Dr.-Ing. Marco Zander, H. Zander GmbH & Co. KG

Prof. Dr. Christian Siemers, Matthias Kuhlmann, TU Clausthal

Der Beitrag beschreibt die Chancen und Möglichkeiten der zukünftigen Automatisierung von Brennerprozessen und die damit einhergehende wachsende Bedeutung von Safety / Security. Zum Abschluss wird ein Konzept für vernetzte Applikationen per OPC UA (Open Platforms Communication Unified Architecture) - Fernzugriff gegeben.

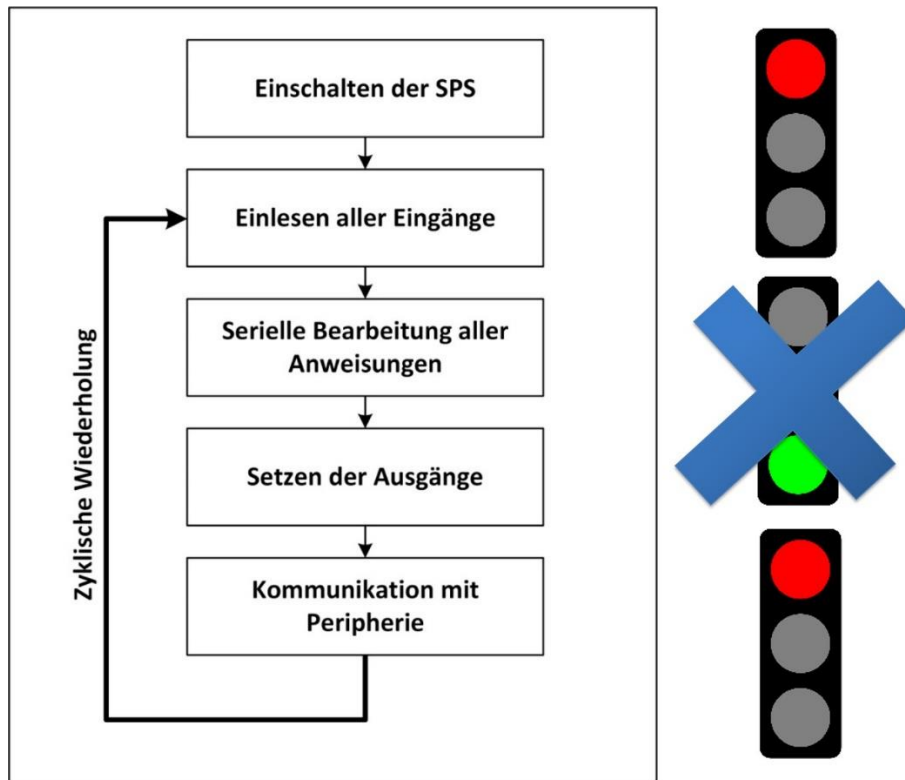
Die ständige Weiterentwicklung der Automatisierungstechnik schafft in vielen Bereichen der Prozessindustrie den Bedarf nach innovativen Lösungsansätzen: Einzelne Prozessschritte werden immer schneller, die zu übertragene Datenmengen größer und auch die Sicherheitsanforderungen steigen stetig. Intelligente und gleichzeitig benutzerfreundliche Vernetzung von Prozessdaten stellt eine der Kernaufgaben der 4. industriellen Revolution dar.

Die Firma Zander aus Aachen bietet mit ihren auf FPGA-Technologie (Field Programmable Gate Array) basierten High-Speed Industrie-Steuerungen einen passenden, innovativen Lösungsansatz an. Dies ermöglicht in Zukunft unter anderem eine genauere Beschreibung von Thermoprozessen wie z.B. von Lichtbögen, Flammen oder Plasmen, da es möglich ist innerhalb von wenigen Mikrosekunden auch analoge Prozessdaten wie z.B. Ströme und Spannungen zu erfassen. Die erfassten Parameter werden in den Steuerungen in 1 Mikrosekunde weiterverarbeitet, sodass eine Prozesssteuerung in Echtzeit mit einer Latenzzeit von wenigen Mikrosekunden zum Beispiel durch exakte Ventilansteuerung ermöglicht wird. Die gewonnenen Daten werden über ein HMI (Human Machine Interface) visualisiert, parametrisiert und in die Cloud oder auf das Smart-Phone versendet. Der Einsatz des einheitlichen Kommunikationsstandards OPC UA stellt dabei die Kompatibilität zwischen allen beteiligten Geräten sicher und vereinfacht z.B. auch die Integration weiterer Komponenten in bestehende Netzwerke.

Zudem werden über das HMI auch die erforderlichen Sicherheitszustände in Form von nicht sicherheitsgerichteten Meldungen, speziell für die Prozessindustrie nach IEC 61511, für Feuerungsanlagen im Dauerbetrieb nach DIN EN 50156-1 und für Thermoprozessanlagen nach DIN EN 746-2, angezeigt. Auch hier wird es in Zukunft möglich sein, Daten der Sicherheitskomponenten wie z.B. den Schaltzustand, die Anzahl der Schaltzyklen usw. online zu erfassen und zu visualisieren. Dies bietet unter anderem im Hinblick der präventiven Wartung der Sicherheitskette („predictive maintenance“) große Vorteile.

### **1. Automation - Mikrocontroller vs. FPGA**

Herkömmliche speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) bestehen im Wesentlichen aus einem Mikrocontroller mit eigener Central Processing Unit (CPU) und einer enthaltenen Software, welche sich aus einem Betriebssystem und dem Anwenderprogramm zusammensetzt. Dabei folgt der Ablauf der Steuerung der Darstellung in Abbildung 1: Nach dem Einschalten werden die Eingänge der SPS eingelesen, alle Anweisungen im Anwenderprogramm nacheinander abgearbeitet, die Ausgänge gesetzt und es wird ggf. mit Peripheriegeräten kommuniziert. Durch die zyklische Abarbeitung dieser Aufgaben ergibt sich eine Zykluszeit der SPS, welche mit ansteigender Komplexität und Länge des Programms natürlich wächst. Wenn nun zum Beispiel die Abarbeitung der Anwenderanweisungen noch nicht beendet ist und schon wieder eine Änderung an den Eingängen anliegt, kann diese Änderung von der Steuerung unter Umständen nicht erfasst werden.

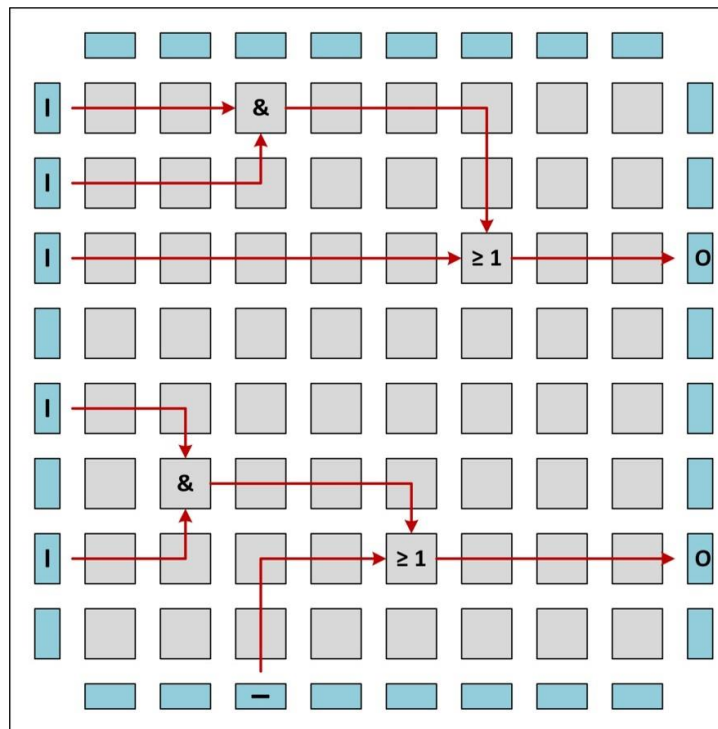


**Abbildung 1:** Programmablauf bei einer SPS mit Mikrocontroller.

Je größer und komplexer das Programm wird, desto langsamer und ungenauer arbeitet die SPS. Die Zykluszeit stellt gewissermaßen den Flaschenhals der gesamten Anwendung dar, weil kein Signal schneller als die Zykluszeit aktualisiert werden darf, um noch erkannt zu werden. Zusätzlich dazu können durch unterschiedliche Programmaufrufe in unterschiedlichen Zuständen auch Schwankungen in der Zykluszeit, sog. Jitter-Effekte, auftreten. Bei präzisen zeitlichen Vorhersagen und reproduzierbaren Schaltpunkten stößt man hier also schnell an seine Grenzen. Ein großer Vorteil von Industrie-Steuerungen mit Mikrocontroller stellt jedoch ihre einfache und freie Programmierung in unterschiedlichen Sprachen dar.

Zander Aachen setzt bei seinen High-Speed Industrie Steuerungen auf einen FPGA-Chip (Field Programmable Gate Array) als zentrales Herzstück anstelle des Mikrocontrollers. Bei FPGAs wird das Anwenderprogramm in Hardware umgesetzt und die Anweisungen sozusagen in den Chip „gebrannt“. Hieraus resultiert, dass es keine Zykluszeiten mehr gibt (vgl. Abbildung 2). Alle Anweisungen, Funktionen etc. werden hier parallel ausgeführt. FPGAs ermöglichen somit die vollständige Reproduzierbarkeit und zudem noch sehr schnelle Verarbeitungszeiten im

Nanosekundenbereich (5 – 20 ns), und zwar unabhängig von der Programmlänge oder Komplexität [1][2][3]. Reaktionszeiten von Ein- zu Ausgängen der Zander FPGA-Steuerungen liegen im unteren Mikrosekundenbereich (< 3 µs). Trotz des „Einbrennens“ des Programms in die Hardware, sind FPGA-Chips ebenso wiederholt beschreib- und programmierbar wie herkömmliche speicherprogrammierbare Steuerungen.

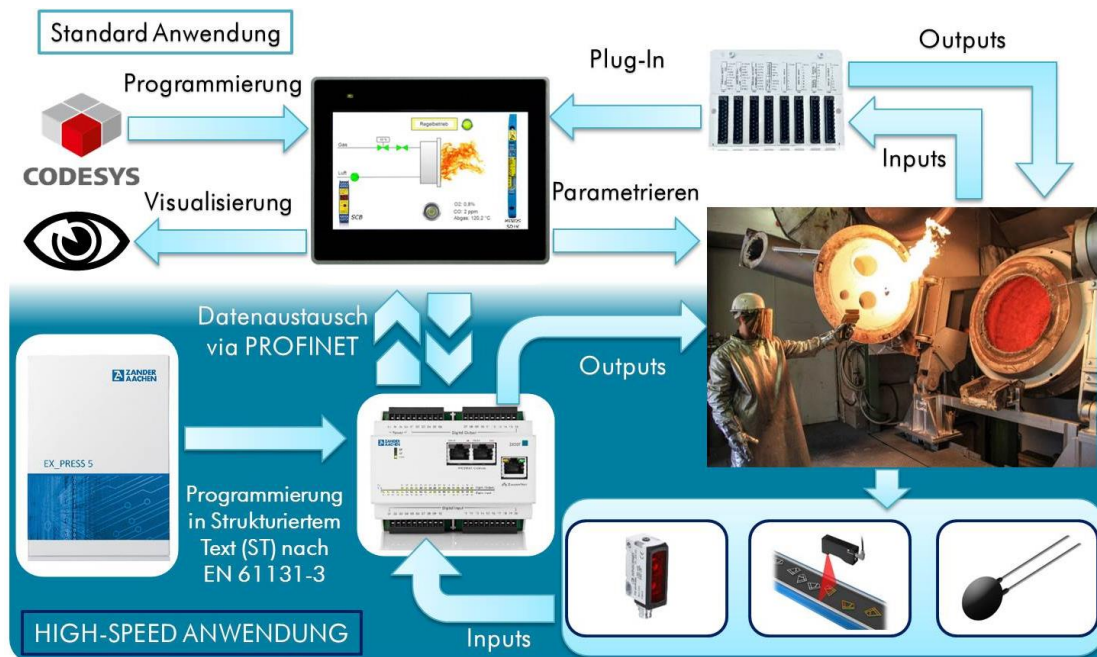


**Abbildung 2:** Prinzipieller Aufbau und Programmablauf bei einem FPGA (blau: Inputs / Outputs, grau: Gatter).

Zur eigentlichen Programmierung eines FPGAs müssen spezialisierte Hardwarebeschreibungssprachen, wie z.B. VHDL (Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language) oder Verilog verwendet werden. Diese werden zwar von den Anbietern der FPGAs in Grundversionen kostenlos zur Verfügung gestellt, zeigen jedoch durch die notwendige parallele Modellierung der Algorithmen eine hohe Komplexität. Der einfache Austausch von normalen SPS durch FPGA-Steuerungen scheitert also am Zwang, eine neue, sehr komplexe Programmiersprache erlernen und beherrschen zu müssen. Die Firma Zander Aachen hat dieses Problem erkannt und bietet für seine High-Speed FPGA-Steuerungen eine eigene Entwicklungsumgebung an, mit der Anwender die Steuerungen in der bekannten und in der IEC 61131 standardisierten SPS-Programmiersprache Strukturierter Text (ST) programmieren können.

## 2. Vernetzte Automatisierung von Brennerprozessdaten

In Abbildung 3 dargestellt ist eine beispielhafte Vernetzungslösung, wie sie für die Automatisierung von Brennerprozessdaten von der Firma Zander Aachen angeboten wird.



**Abbildung 3:** Vernetzte Automatisierung von Brennerprozessdaten.

Die Automatisierung lässt sich in zwei Subnetze aufteilen: In der High-Speed Umgebung werden Signale und Daten über verschiedene digitale oder analoge Sensoren direkt an eine Zander FPGA-Steuerung angeschlossen. Mit Hilfe eines vom Anwender mit der Zander Projektumgebung EX\_PRESS 5 in Strukturiertem Text (ST) geschriebenen Programms werden diese Input-Signale superschnell verarbeitet und digitale Outputs ermöglichen die präzise und reproduzierbare Steuerung und Regulierung des Brennerprozesses. Mit seinen PROFINET- oder EtherCat-Schnittstellen können die Zander-ZX-Steuerungen mit übergeordneten Systemen anderer Hersteller Daten austauschen. Mit den Zander MVisio HMIs können so Daten aus dem High-Speed Subnetz visualisiert werden und zum Beispiel unterschiedliche Betriebsmodi ausgewählt werden. Gleichzeitig können über Erweiterungsmodule sowohl digitale als auch analoge Ein- und Ausgänge direkt am HMI genutzt werden. Die Programmierung des Bedienpanels erfolgt dabei mit der freien Software Codesys.

Insbesondere die High-Speed-Verarbeitung von Analogdaten spielt in der Prozessindustrie eine sehr große Rolle. Mit der neuen Zander ZX09-Serie wird nun auch eine Real-Time Erfassung und Verarbeitung von analogen Messdaten, wie Lichtbögen, Plasmen und Flammen möglich gemacht: Eine exakte Echtzeit-Regelung von Flammen beim Schweißen oder Brennschneiden zur Steigerung der Qualität und des Durchsatzes ist hierdurch möglich. Ein konkretes Beispiel: Bei der sogenannten Laser-induzierten Fluoreszenzmessung (LIF) wird eine Flamme bestrahlt und abhängig von der Wellenlänge des Lasers und des Absorptionsbereiches der bestrahlten Flamme entsteht eine Fluoreszenz, welche durch eine High-Speed Kamera aufgefangen wird. Mit Hilfe der High-Speed Analog-SPS von Zander können nun die Temperatur-Messwerte der Kamera superschnell erfasst und weiterverarbeitet werden. Dadurch ist eine exakte Prozessbeschreibung, das heißt in situ Flammensteuerung innerhalb von wenigen Mikrosekunden möglich, was zu Einsparungen von Brennstoff sowie verbesserten Abgaswerten durch die genauere Flammenkenntnis führt.

### **3. Die wachsende Bedeutung Funktionaler Sicherheit für Thermoprozesse**

Hochtemperatur-Thermoprozesse gelten aufgrund Ihrer Vielfalt von Gefahrquellen (u.a. Verbrennungen, Explosionen, toxische Gase) immer noch als äußerst sicherheitskritisch.

Auch aufgrund dieser Tatsache hat sich hier in den letzten Jahren normativ sehr viel getan. Im Folgenden wird der normative Rahmen beschrieben.

Die Maschinenrichtlinie 2006/43/EG bildet das Fundament für die Maschinensicherheit. Diese verfolgt das Globalziel, ein einheitliches Schutzniveau für das Inverkehrbringen von Maschinen im Europäischen Wirtschaftsraum sicherzustellen.

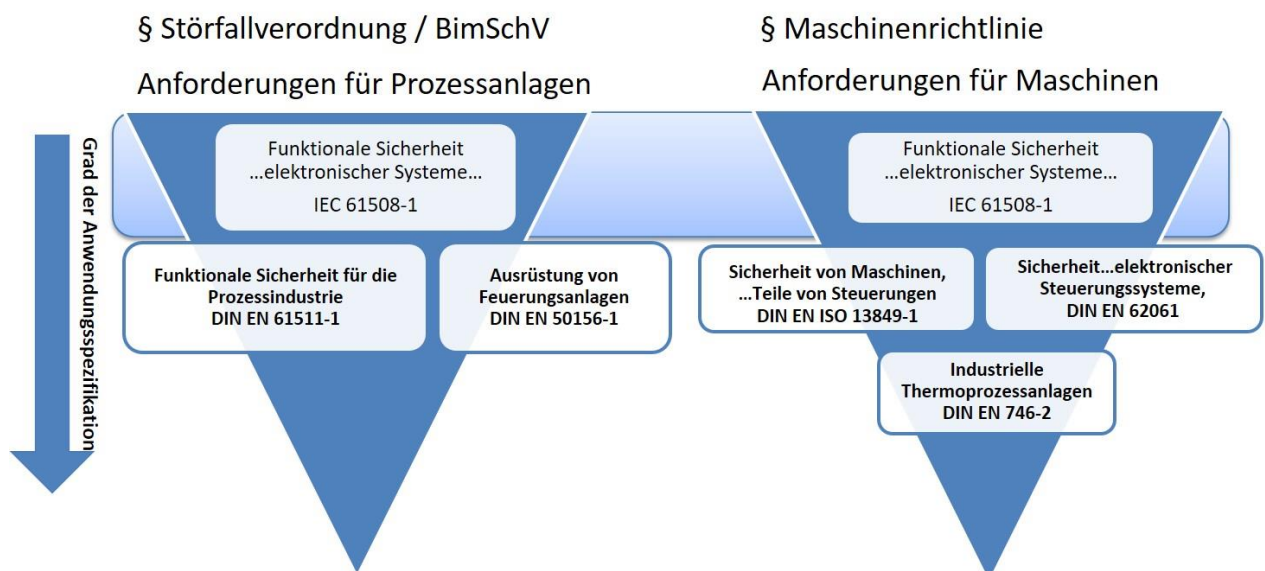
Mit dem Ziel die Sicherheit von Maschinen bewerten zu können, wurden im Jahr 2007 neue Normen definiert. Diese lassen sich in A, B, C Normen unterteilen. So ist im Maschinenbau als generelle anwendungs- und technologieunabhängige A-Basis-/Grundnorm die DIN EN 61508 zu nennen. Diese beschreibt die Funktionale Sicherheit sicherheitsgerichteter Systeme. B-Normen sind

sektorspezifische Sicherheitsgrundnormen, wie z.B. die Maschinennormen EN ISO 13849-1 (Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen) und IEC 62061 (Sicherheit von Maschinen - Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener, elektrischer, elektronischer und programmierbarer elektronischer Steuerungssysteme).

Eine Ebene darunter befinden sich die anwendungsspezifischen Normen, sogenannte C-Normen: Hier ist beispielsweise die industrielle DIN EN 746-2 speziell für die Sicherheit von industriellen Thermoprozessanlagen zu nennen.

Wird der Ansatz über die Prozessindustrie verfolgt, ist häufig die Störfallverordnung (12. BimSchV 2000) die rechtliche Grundlage. Hier heißt es u.a. unter §3 „Die Beschaffenheit und der Stand der Anlagen müssen dem Stand der Sicherheitstechnik entsprechen“. Auch hier wird auf die sicherheitsrelevanten Normen EN 61508 und insbesondere auf die DIN EN 61511 (Funktionale Sicherheit sicherheitstechnischer Systeme für die Prozessindustrie) verwiesen.

Die Vielzahl der genannten Normen lässt sich im Schaubild aus Abbildung 4 vereinfacht zusammenfassen:



**Abbildung 4:** Relevante Normen für verfahrenstechnische Applikationen. [3]

Das Schaubild visualisiert die Komplexität der Normenzusammenhänge in Abhängigkeit der Anlage bzw. der letztendlichen Anwendung. Generell haben anwendungsspezifische C-Normen Vorrang vor den Grundnormen (d.h. in Abbildung 4: unten hat Vorrang vor oben). So sollten z.B. für industrielle Prozess-

und Schmelzöfen sowie Kesselanlagen die Normen EN 746-2 in Kombination mit der DIN EN 50156-1 betrachtet werden.

Generell gilt, dass mittels Normen immer nur „Richtungen“ vorgegeben werden, auch andere Möglichkeiten zur Erreichung des Schutzziels sind zulässig. Jedoch muss immer die Gleichwertigkeit nachgewiesen werden und das persönliche Haftungsrisiko ist für den jeweils verantwortlichen Planer erheblich höher.

Auch verdeutlicht der Exkurs, dass die genannten Normen zum einen unter der Maschinenrichtlinie mit ihren klassischen Safety Betrachtungen (Performance Level PL nach EN ISO 13849-1 und Safety Integrity Level Claim Limit SILCL nach IEC EN 62061) oder zum anderen unter der Störfallverordnung angesiedelt sind (vgl. Abbildung 4). Basisnorm für beide ist die IEC 61508-1, welche den Stand der Technik von sicherheitstechnischen Systemen beschreibt, die elektrische, elektronische oder programmierbare elektronische Systeme enthalten.

Als exemplarisches Beispiel kann der Industriebrenner aufgeführt werden. Ob dieser als „Maschinenkomponente“ nach EN 746-2 inkl. PL und SIL betrachtet wird oder ob dieser später als Komponente in einem Kesselprozess nach DIN EN 50156 bzw. 61511-1 integriert ist, lässt sich für den jeweiligen Planer zu Projektbeginn häufig nur schwer feststellen. Eine Lösung wäre, dass die sicherheitstechnischen Komponenten alle diese Norm erfüllen.

Hier kommt der große Vorteil der im Folgenden beschriebenen Safety Lösungen von Zander Aachen – diese sind vom TÜV Rheinland für alle betrachteten Normen baumustergeprüft.

Das bedeutet für die Anwender ein Nachweis in Form eines Zertifikates, welches die Erfüllung der gesamten, normativen Grundlagen belegt. Die folgenden Produkte lassen sich in diesem Zusammenhang hervorheben.

Als Lösungen zum sicheren Abschalten von Brennern sind insbesondere die folgenden Produkte hervorzuheben.

Neben klassischen Abschaltgliedern wie Sicherheitsrelais zum Abschalten der Brennerventile werden im großen Stil sichere Koppelrelais eingesetzt. Diese eignen sich zur galvanisch getrennten Kontaktvervielfältigung und Kontaktverstärkung. Des Weiteren können Sie zur Filterung galvanisch getakteter Halbleiterausgänge übergeordneter Safety-Steuerungssysteme eingesetzt



werden. [4]

Sichere Zeitsteuerungen wie das SCB von Zander werden zum verzögerten Ein- und Ausschalten innerhalb der Sicherheitskette verwendet. Beispielhafte Applikationen sind z.B. die Überwachung von Kesselspülzeiten oder auch die Filterung kurzzeitiger Schwankungen von Drücken, Temperaturen und Volumenströmen. Hier sind Zeiten von 0,1 sec bis 99 h realisierbar, dies alles bei einer manipulationssicheren, PIN-geschützten und exakten Einstellgenauigkeit mittels Druck-Drehtaster in Kombination mit einem LED-Display. Um eine maximale, sichere Anlagenverfügbarkeit zu gewähren, kann eine laufende Verzögerungszeit vor der Not-Halt-Abschaltung vorzeitig abgebrochen werden (Retriggerung).

Muss die gesamte Brenner-Prozesskette sicher und mit einem Höchstmaß an Diagnose überwacht werden, sind sichere Kleinsteuerungen die richtige Wahl. So können z.B. mit der TALOS Steuerung, welche über 14 sichere Eingänge, 3 sichere Halbleiterausgänge und 6 Meldekontakte verfügt, Anwendung mit mehreren, verschiedenen Verzögerungszeiten, z.B. zur Signalisierung einer bevorstehenden Abschaltung, realisiert werden.

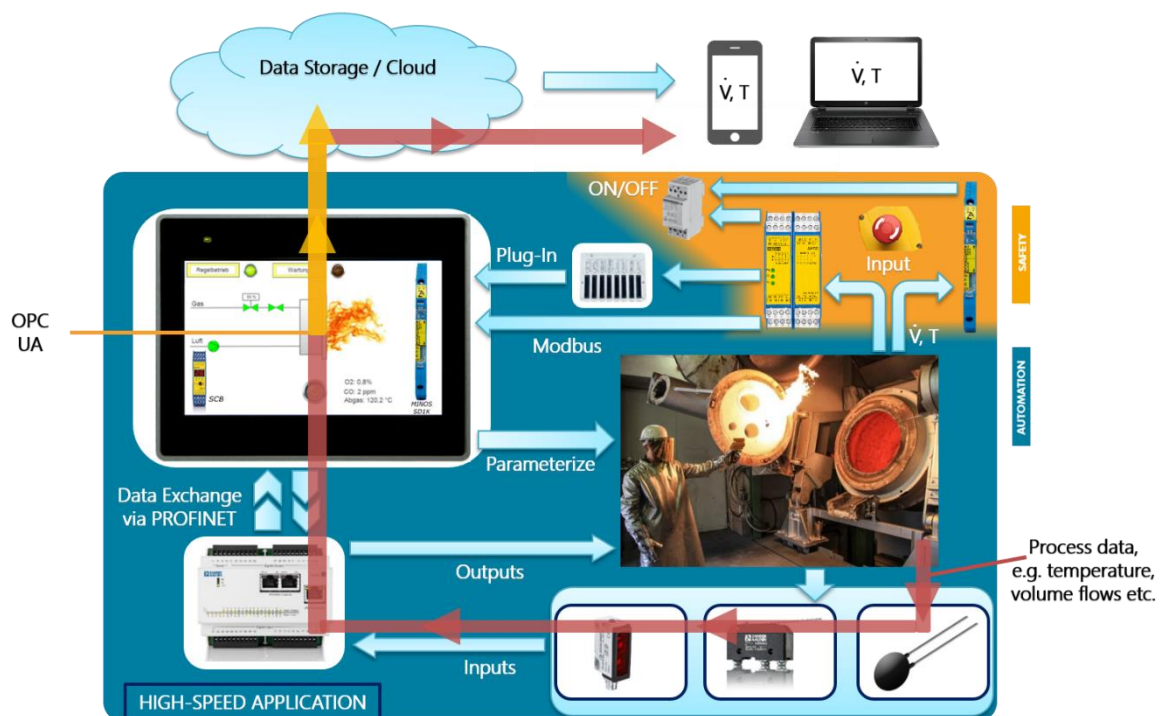
Die folgende Abbildung zeigt eine Auswahl der zur Verfügung stehenden Zander – Produktlösungen.



**Abbildung 5:** Zertifizierte Safety Lösungen zur sicheren Abschaltung von Thermoprozessanlagen.

#### 4. Ausblick für die Vernetzung von Brennerprozessdaten

Mit Abbildung 6 soll ein Ausblick über die zukünftige Vernetzung von Prozessdaten im Hinblick auf die Industrie 4.0 gezeigt werden. Aufbauend auf dem vorher erläuterten Schaubild aus Abbildung 3 wurden hier noch Sicherheitskomponenten einer Anlage mitberücksichtigt. Daten wie z.B. der Schaltzustand der Sicherheitsbausteine, die Betriebsstunden, Temperaturen im Schaltschrank und vieles mehr können in Zukunft direkt über ein Erweiterungsmodul für die Zander-Sicherheitsrelais ausgelesen werden und über das weit verbreitete Modbus RTU-Protokoll am HMI visualisiert werden. Aus den Schaltzuständen können dann wiederum direkt weitere Informationen, wie z.B. Ventil- und Klappenpositionen oder der aktuelle Prozessschritt gewonnen werden. Das Bereitstellen solcher Daten ermöglicht es im Rahmen von „predictive maintenance“ Ausfälle und Probleme frühzeitig zu erkennen und Schäden mit vorbeugenden Maßnahmen entgegenzuwirken.



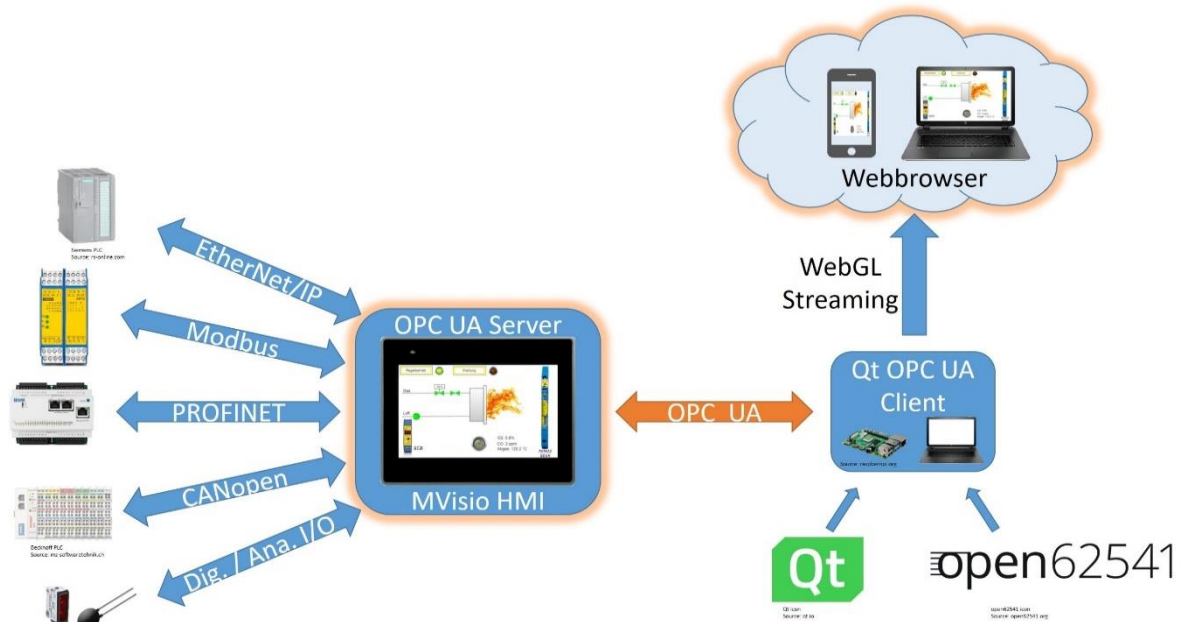
**Abbildung 6:** Ausblick für vernetzte Brennerprozessdaten via OPC UA.

Neu wird außerdem der Einsatz der Zander MVisio HMIs als OPC UA Server sein. Open Platforms Communication Unified Architecture (OPC UA) ist eine Architektur zur Beschreibung und zum Austausch von Maschinendaten und wird wegen seiner Interoperabilität und Möglichkeit zur plattformunabhängigen Integration von

allen großen Automatisierungsunternehmen unterstützt [13]. Das Zander HMI dient also gewissermaßen als Sammelstelle für die Daten aus unterschiedlichen Subsystemen und Busprotokollen, vereinheitlicht die empfangenen Daten im OPC UA Format und stellt diese mehreren Clients auf Endgeräten wie Smartphone, Tablet oder PC in einem Webbrowser zur Verfügung.

Die Implementierung eines OPC UA Clients wird in diesem Fall durch einen zentralen Firmenrechner oder einen Einplatinencomputer realisiert werden. Die nötigen OPC UA Funktionen werden mit Hilfe der Open-Source OPC UA C-Implementierung „open62541“ integriert und bilden zusammen mit dem bekannten Anwendungsframework und Graphical-User-Interface Toolkit „Qt“ das Modul „Qt OPC UA“. Mit Hilfe dieses Moduls können nun OPC UA Prozessdaten vom Server abgerufen und beschrieben werden.

Eine Visualisierung und Steuerung der Daten, zum Beispiel im selben Format wie auf dem HMI, ist mit Hilfe von Qt ebenfalls möglich. Der OPC UA-Client beziehungsweise das Qt-Programm laufen auf einem zentralen Rechner und mittels WebGL (Web Graphics Library) werden die Inhalte auf jedem Endgerät, das einen Webbrowser beinhaltet, abrufbar (vgl. Abbildung 7).



**Abbildung 7:** Zander OPC UA Toolchain.

Als eine Anwendung wäre zum Beispiel die Fernwartung und -diagnose eines schlecht zugänglichen Messstandes einer Abgasanlage auf dem gesamten

Werksgelände denkbar. Hier können z.B. über das Smart-Phone zugangsbeschränkt Messwerte ausgelesen und daraufhin Prozessgrößen gesteuert werden. Ein digitales Abbild des Prozesses zur Fernwartung und Steuerung ist also keine Utopie mehr, sondern mit OPC UA einfach zu realisieren. Zu beachten ist, dass das Thema Security bei einer ganzheitlichen Lösungsentwicklung eine wesentliche Rolle spielen sollte.

## Literatur

- [1] Cord, Elias: *FPGAs für Maker: eine praktische Einführung in programmierte Logik*. 1. Auflage, Heidelberg, dpunkt.verlag, 2016 [ISBN 978-3-86490-173-7][S. 9-16]
- [2] Siemers, Christian Prof.; Zander, Marco Dr.-Ing: Freie Programmierung in Strukturiertem Text. *ELEKTRONIKPRAXIS* (2017), Nr. 6, S. 61-62
- [3] Xilinx Spartan FPGA Series Product Selection Matrix, Xilinx (2006), Rev. 1Q2006, [https://www.xilinx.com/publications/matrix/spartan\\_color.pdf](https://www.xilinx.com/publications/matrix/spartan_color.pdf)
- [4] Ruland, Stefan; Zander, Marco Dr.-Ing: Sicherheitssteuerungen und –relais. *Chemie Ingenieur Technik Plus* (2018), Nr. 11, Sonderteil Automation, S. 2-4.
- [5] Kompaktes Koppelrelais SD1K, *GIT-Sicherheit* (2019), Wiley Verlag, <https://www.git-sicherheit.de/produkte/safety/zander-kompaktes-koppelrelais-sd1k>
- [6] Becker, Norbert Prof. Dr.-Ing.: *Automatisierungstechnik*. 2. Auflage, Würzburg, Vogel Buchverlag, 2014 [ISBN 978-3-8343-3301-8][S. 227-230]
- [7] DIN EN ISO 13849-1:2016-06, Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze (ISO 13849-1:2015)
- [8] DIN EN 62061:2016-05, Sicherheit von Maschinen – Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer, elektronischer und programmierbarer elektronischer Steuerungssysteme (IEC 62061:2005 + A1:2012 + A2:2015)
- [9] DIN EN 61508-1:2011-02, Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme – Teil 1 – 7 (IEC 61508-1..7:2010)
- [10] DIN EN 50178:1998-04, Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln
- [11] DIN EN 61511-1:2019-02, Funktionale Sicherheit – PLT-Sicherheitseinrichtungen für die Prozessindustrie – Teil 1: Allgemeines, Begriffe, Anforderungen an Systeme, Hardware und Anwendungsprogrammierung (IEC 61511-1:2016 + COR1:2016 + A1:2017)
- [12] DIN EN 50156-1:2016-03, Elektrische Ausrüstung von Feuerungsanlagen und zugehörige Einrichtungen – Teil 1: Bestimmungen für die Anwendungsplanung und Errichtung

- [13] DIN EN 746-2:2011-02, Industrielle Thermoprozessanlagen – Teil 2:  
Sicherheitsanforderungen an Feuerungen und Brennstoffführungssystemen
- [14] Schleipen, Miriam Dr.; Hoppe, Stefan: *Praxishandbuch OPC UA: Grundlagen  
– Implementierung – Nachrüstung - Praxisbeispiele*. 1. Auflage, Würzburg,  
Vogel Business Media, 2018 [ISBN 978-3-8343-3413-8][S. 15-16]