



Modellfabrik der tsm

Reiner Doll, Technikerschule München

<http://portal.ts-muenchen.de>

mail@reinerdoll.de



Allgemeines

Die Anlage wurde im Rahmen von Projektarbeiten im Schuljahr 2017/18 von Schülern der Fachbereiche Elektrotechnik und Mechatronik der tsm konzipiert und aufgebaut. In den Folgejahren wird die Anlage weiter ausgebaut und kontinuierlich am Stand der Technik gehalten.

Entwicklungskern war die Überlegung, wieviel Mechanik nötig ist, um die relevanten Themen der modernen Anlagentechnik anschaulich und praxisnah für den Unterricht in Automatisierungstechnik und Datenverarbeitung aufzuarbeiten, sowie die Randbedingung, den Schülern diese Funktionalität zu vernünftigen Kosten bereitzustellen. Inhaltlich im Vordergrund steht die Vernetzung von Anlagenkomponenten mit modernen Kommunikationsprotokollen (OPCuA, Rest, MQTT, TCP/IP) sowie die Realisierung aktueller leittechnischer Ansätze (lose Kopplung, I4.0) auf Rechnerbasis (MES) und (in Richtung Agentenbasierung) direkt durch fortgeschrittene SPS-Technik.



Funktionsüberblick

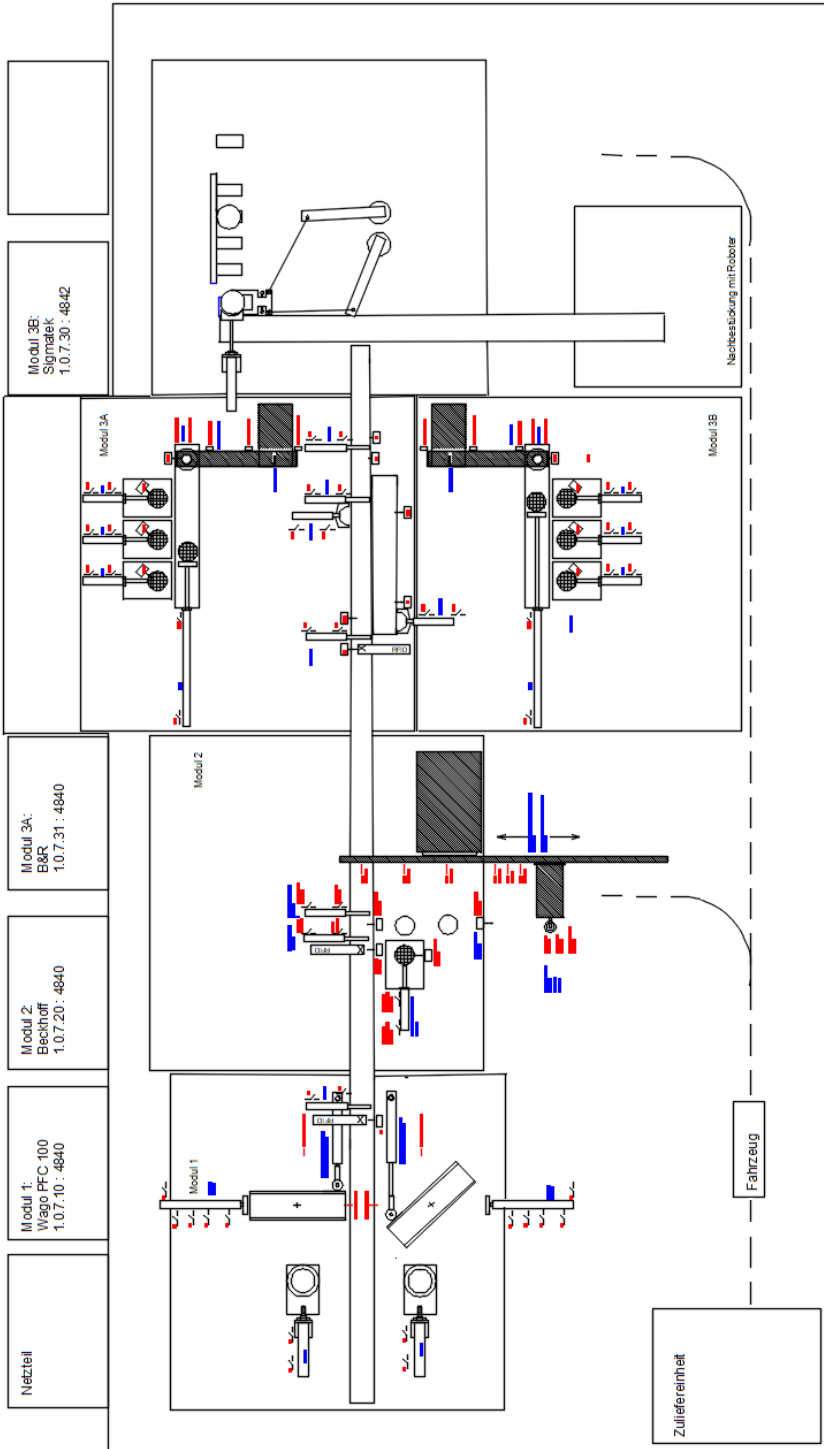
Die "Wertschöpfung" findet entlang einer gemeinsamen Transportband-Einheit statt. Zunächst 3 Module stellen Produkte aus 3 Bauteilen in Losgröße 1 her. Diese können in einem Onlineshop aus 24 Varianten bestellt werden.

Modul 1 stellt in Losgröße 4 den Grundkörper bereit.

Modul 2 bestückt Zulieferteile, die später just-in-time und just-in-sequence von einem Zulieferwerk mit autonom navigierenden Fahrzeugen bereitgestellt werden.

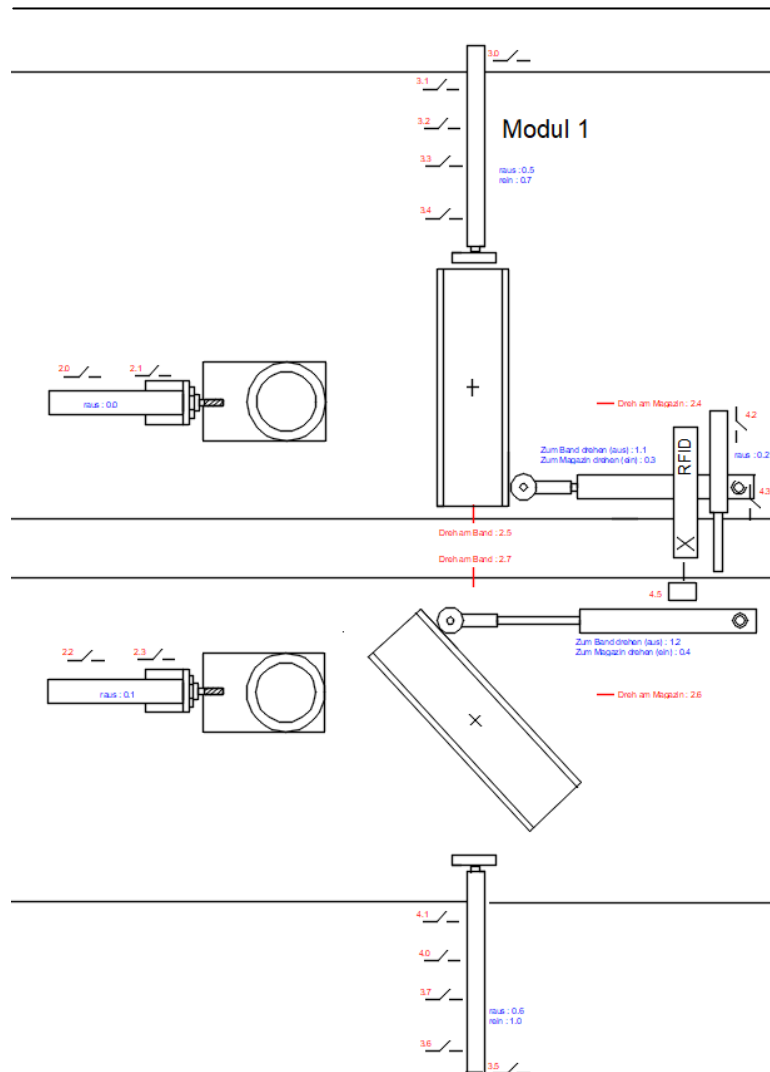
Modul 3 bestückt redundant das dritte Bauteil.

In Projektarbeiten 2018/19 sind ein Deltaroboter zur Nachbestückung von Teilen, ein Hochregallager mit Deltabedienung sowie das Zulieferwerk und die Fahrzeuge in Arbeit.





Modul 1 : Losgröße n



In realen Industrieanlagen treffen theoretische Konzepte wie z.B. Losgröße 1 in 4.0, auf reale Gegebenheiten. Man stelle sich den Rohbau von Autokarosserien in Varianten (z.B. vollverzinkt oder nur beschichtet) vor. Dieser Vorgang ist in Losgröße 1 nicht wirtschaftlich, und wird deshalb in Losgröße n ausgeführt. Losgröße n wird in Modul 1 durch eine mechanische Anordnung erzwungen, in der immer 4 Stück jeder Variante gefertigt werden müssen. Die Aufträge müssen entsprechend sequenziert werden. Erst bei Verlassen von Modul 1 erhalten die Produkte am RFID-Writer eine eindeutige Produkt-ID ("Produkttaufe"). In der KFZ-Industrie wird diese Technik „späte Auftragszuordnung“ genannt („late order binding“). Die Steuerung der Produktionszyklen für das Auffüllen der Lagerstraßen geschieht nicht durch das überlagerte MES, sondern wird vom Modul selbst mit digitalem Kanban durchgeführt.

Modul 1 stellt auf zwei Lagerpaletten je 4 Stück von zwei Varianten des unteren Bauteils unseres Produkts bereit. Der Herstellungsvorgang (Palette drehen) geht so langsam vor sich, daß ein Befüllen mit weniger als 4 Teilen unwirtschaftlich wird (z.B. 30 Sekunden für das Drehen).

Mit ORDER = 1 wird aus Palette A, mit ORDER = 2 aus Palette B jeweils ein Teil aufs Band geschoben, wenn der START-Befehl den Vorgang triggert.

Der Vorgang des Befüllens bei leergeräumter Palette wird nicht vom MES-System, sondern im Modul intern als E-Kanban

realisiert. (de.wikipedia.org/wiki/Kanban). Die Kanban-Karte ist der Endschalter am Ausschub-Zylinder. Ist dieser erreicht, so ist diese Palette leer. Der Vorgang des Befüllens startet (der andere Mechanikteil mit noch befüllter Paltette arbeitet aber gleichzeitig weiter). Daß dieser Mechanikteil damit blockiert ist, wird durch MESSAGE =1 (Palette A) bzw. MESSAGE = 2 (Palette B) gemeldet. Sollte ein Nachfüllen der Palette nicht möglich sein, weil im Schachtmagazin kein Material ist, geht MESSAGE je nach fehlendem Teil auf 4 oder 8.

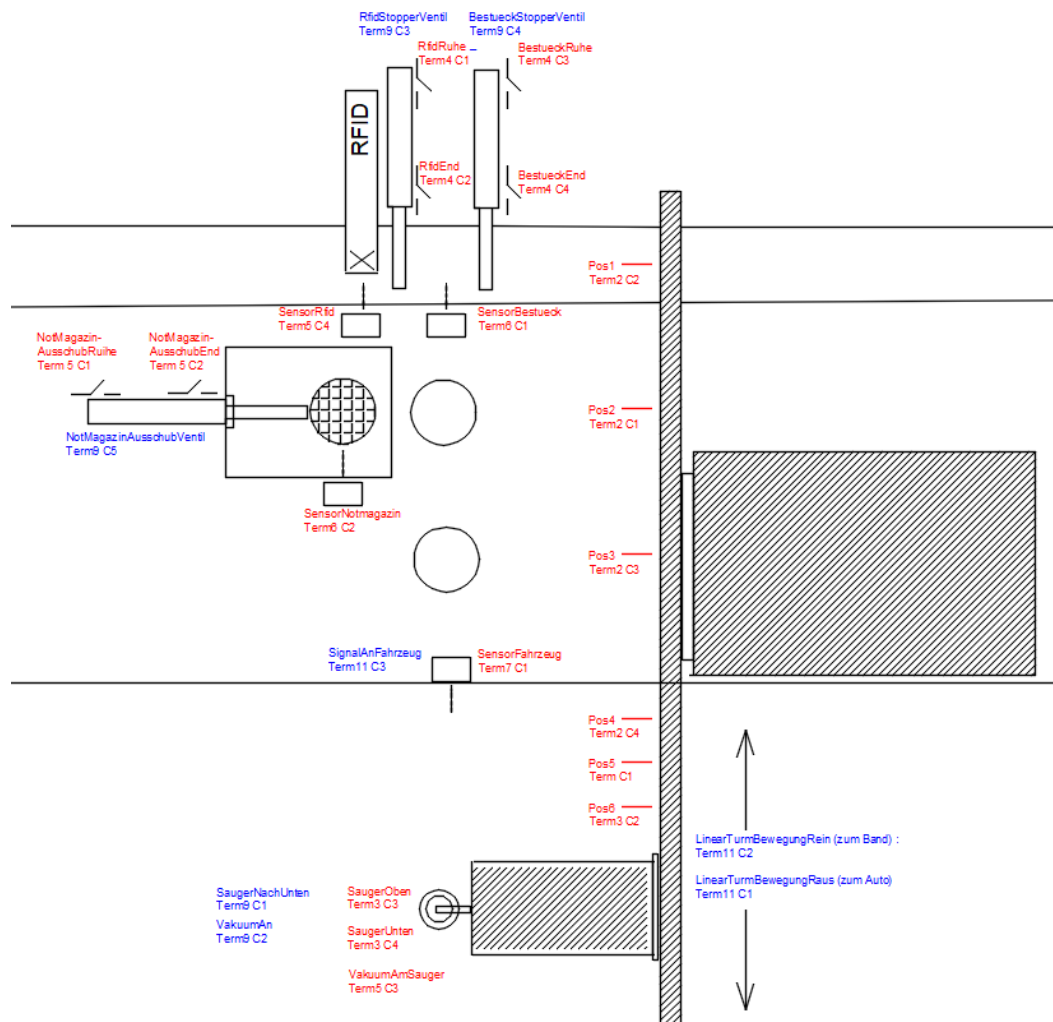
OPC-Schnittstelle : `opc.tcp://1.0.7.10:4840`

Achtung : Der OPC- Client (und wohl auch das Toolkit) von Softing kann mit dem Wago-OPC-Server nicht kommunizieren. Der Client von UAExpert und das Toolkit von Easy-OPC funktionieren problemlos !

ORDER = 1	Teil A auf Transportband
ORDER = 2	Teil B auf Transportband
ORDER = 4	Produkt freigeben (Tor auf)
ORDER = 8	Tor sperren
MESSAGE = 1	Palette A nachfüllen
MESSAGE = 2	Palette B nachfüllen
MESSAGE = 4	Schachtlager A leer
MESSAGE = 8	Schachtlager B leer



Modul 2 : supply chain



Modul 2 weist keine eigene Lagerhaltung auf, sondern wird von einem Zulieferwerk mit Material versorgt. Zwei Zulieferfahrzeuge liefern just-in-time und just-in-sequence Bauteile für das aktuell laufende Produktmuster (Perlenkette). Ein Pick-and-place Automat holt die Bauteile sequenzrichtig vom Fahrzeug und bestückt dann die Produkte. Die Sequenz der Zulieferteile kann nicht geändert werden. Modul 2 bestückt also zwar in Losgröße 1, das Muster der Perlenkette ist aber fest, man nennt dies „gefrorener Horizont“.

Wenn ein Produkt auf dem Transportband in das Modul einfährt, wird es unter dem RFID-Reader gestoppt. MES erkennt das Produkt (RFID) und gibt ohne Auslesen des RFID (Lesen des RFID und Prüfen auf korrektes Zulieferteil wird im nächsten Projektjahr realisiert) den Bestückungsbefehl (ORDER=1, START). Der Stopper vor der Bestückungsfunktion öffnet sich, das Bauteil fährt in Bestückungsposition. Wenn die Bestückung ausgeführt ist (BUSY=0), gibt MES Produktfreigabe (ORDER=4) und das Produkt fährt aus Modul 2 aus..

Wenn die Bestückung scheitert, weil das Zwischenlager leer ist, gibt die Station MESSAGE=1. MES kann jetzt entscheiden, ob gewartet wird oder Notbestückung erfolgt. Notbestückung geschieht mit ORDER=2 , wieder mit START getriggert. MES vermerkt die Notbestückung in der Datenbank am Produkt.

Die Fahrzeugsteuerung (supply chain management) wird von MES ausgeführt. Das Fahrzeug kommt am Modul an. Die Modul-SPS meldet dies an MES mit MESSAGE = 2. MES beauftragt das Abladen ins Zwischenlager mit ORDER = 8 (ein START für alle Bauteile). Wenn entladen ist (BUSY =0) , kann das Bestücken auf das Montageband weitergehen.

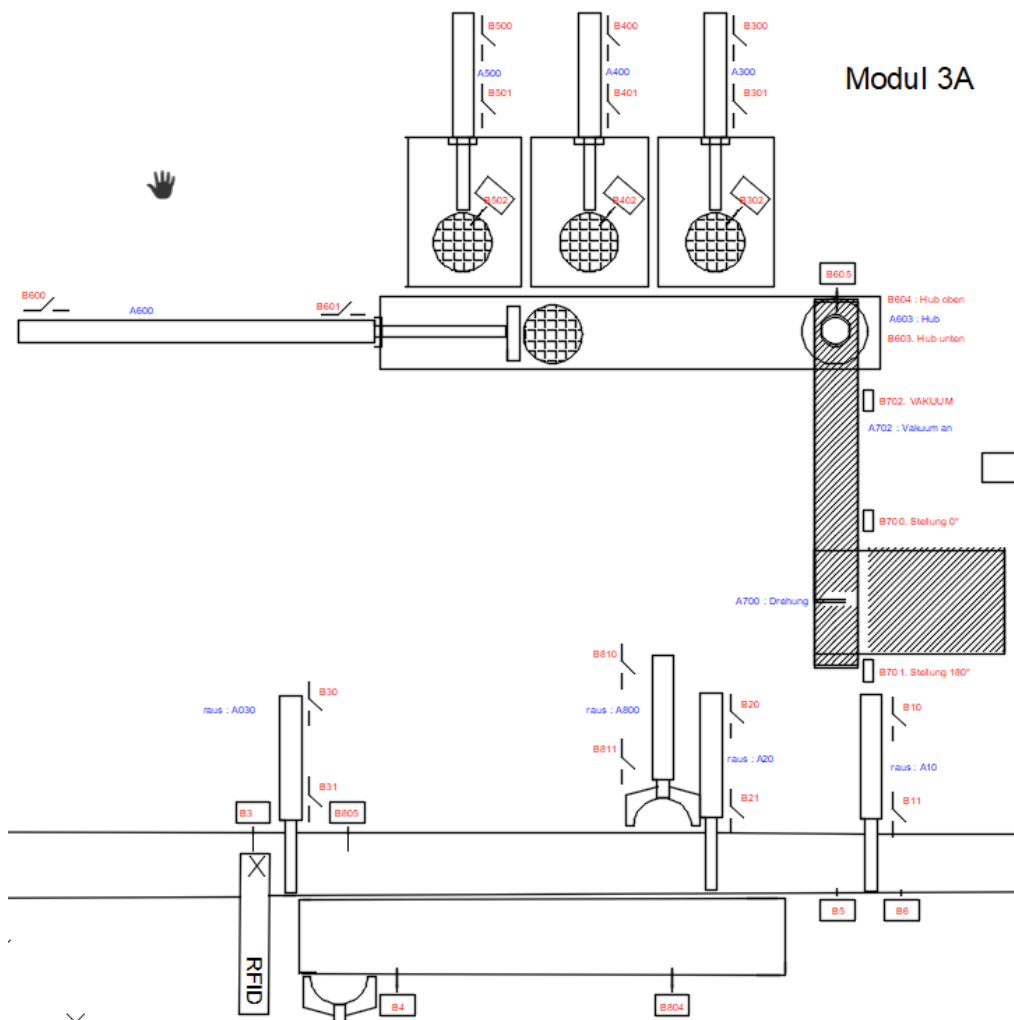
Das Modul gibt über ein optisches Signal dem Fahrzeug die Aufforderung zur Abfahrt .

OPC-Schnittstelle : `opc.tcp://1.0.7.20:4840`

ORDER = 1	Standardbestückung (supply-Lager)
ORDER = 2	Notbestückung
ORDER = 4	Produkt freigeben
ORDER = 8	Fahrzeug entleeren
ORDER = 16	Fahrzeug freigeben (fährt los)
MESSAGE = 1	supply-Lager leer
MESSAGE = 2	Fahrzeug angekommen



Modul 3a : Redundanz



Am Einlauf von Modul 3 befindet sich eine Sequenzierstation. Hier kann die Reihenfolge der „Perlenkette“ geändert werden, wenn der Betriebszustand dies erfordert (z.B. Materialmangel). Zwei Handhabungsgeräte bestücken abwechselnd in statischer Redundanz aus je drei Magazinen. Zur Ermittlung der nötigen Variante wird (RFID) die Produkt-ID gelesen und damit über einen XML-Webservice aus der ERP-Datenbank der Auftrag eingeholt.

Der Stopper am RFID-Controller dient als Eingangsschranke. Vor diesem baut sich ggf. ein Produktpuffer auf. Sollte das von RFID erfasste Produkt im Modul 3 auch bei Ausnutzung der Redundanz nicht bearbeitbar sein (Bauteilelager leer), so wird es zwar von der Eingangsschranke vereinzelt, aber bei Erreichen von Schranke 2 auf das Parallelband (Sequenzierband) ausgeschoben. Sollte das Produkt an RFID bearbeitbar sein, wird es an der Eingangsschranke vereinzelt und an Schranke 2 ungehindert weitergeleitet. Am Bestückungsstopper wird es angehalten, bis die Bestückung ausgeführt ist. Erst nach Verlassen des letzten Stoppers geht BUSY wieder auf null, die Eingangsschranke vereinzelt das nächste Produkt.

OPC-Schnittstelle : opc.tcp://1.0.7.30:4842

ORDER = 1	Bauteil 1 bestücken
ORDER = 2	Bauteil 2 bestücken
ORDER = 3	Bauteil 3 bestücken
ORDER = 4	Bauteilbestand prüfen
Message = 1	Bauteilschacht 1 leer
Message = 2	Bauteilschacht 2 leer
Message = 4	Bauteilschacht 3 leer

(z.b. Message = 3 -> Lager 1 und 2 leer !)

Hauptband, Sequenzierereinheit

Diese Komponenten können über den OPC-Server in Modul 3a gesteuert werden. Der OPC-Server der Sigmatek-SPS bietet dazu eine jeweils eigene Standardschnittstelle an :

OPC-Schnittstelle : `opc.tcp://1.0.7.30:4842`

Node Sequenzierer :

ORDER = 1 Bauteil ausschleifen

ORDER = 2 Bauteil einschleifen

OPC-Tags Sequenzierer : z.b. `ns=2;s=Sequenzierereinheit1.s_Ready`

Node Bandsteuerung :

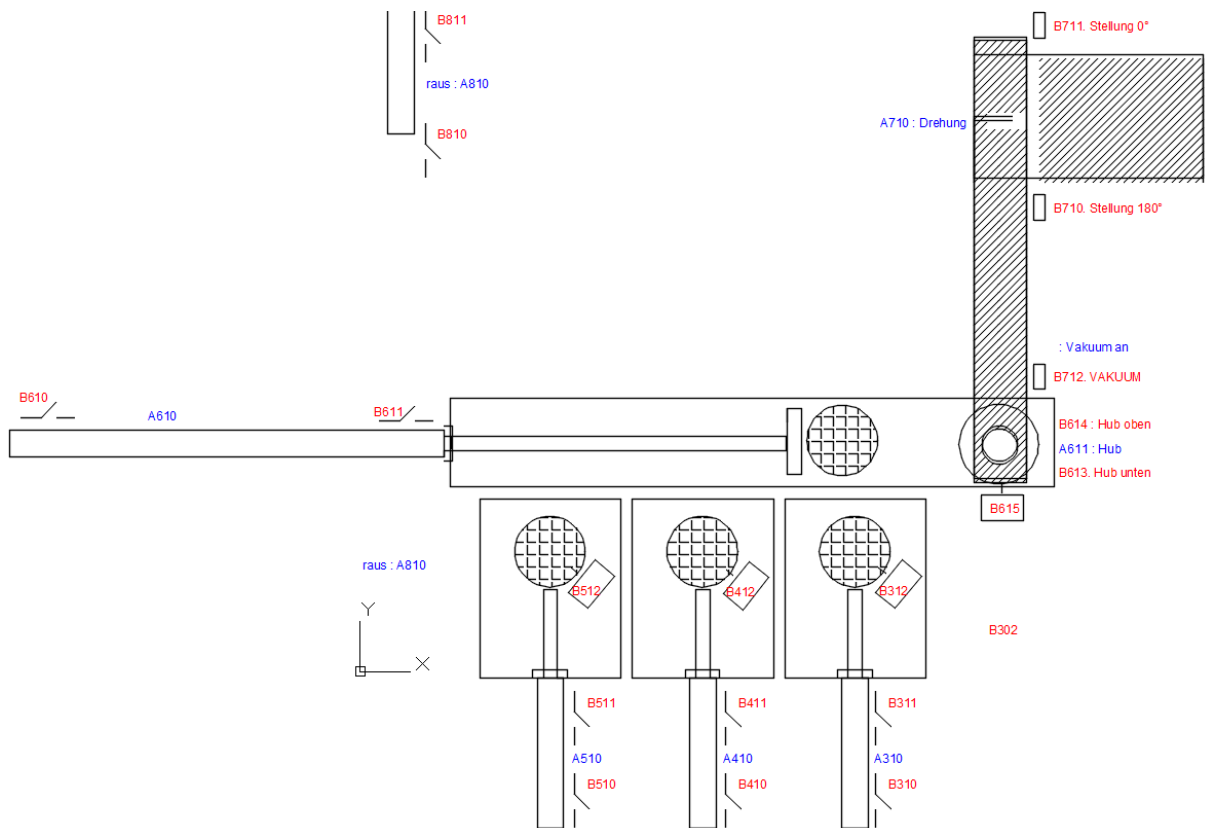
ORDER = 1 Band ein

ORDER = 2 Band aus

Vorbereitet ist ein Betrieb, bei dem das Band in Stufen von 1 bis 255 in der Geschwindigkeit gesteuert werden kann.



Modul 3b : Redundanz



Der in Produktionsrichtung rechte Modulteil 3b (Steuerung : B&R) führt mechanisch exakt die gleiche Funktion aus wie der Bestückungsteil von Modul 3a, steuert aber keine eigenen Bandstopper.

OPC-Schnittstelle : 1.0.7.31 /4840

ns=6;s=::AsGlobalPV:ready)

- ::AsGlobalPV:ready
- ::AsGlobalPV:order
- ::AsGlobalPV:start
- ::AsGlobalPV:acknowledge
- ::AsGlobalPV:busy
- ::AsGlobalPV:message

Modul 3 : Redundanzbetrieb

Modul 3a und 3b sind mechanisch und lagerlogistisch identisch. Dies ermöglicht hot oder cold standby. Im ersten Ansatz soll MES einen hot standby – Betrieb durchführen, also immer abwechselnd bestücken.

Die Redundanzfunktion erstreckt sich nur auf die beiden Lager A und B. Hier stehen die Bauteile zur Verfügung, die im Betrieb am häufigsten benötigt werden. Die Bauteile C und D werden (statistisch) nur bei wenigen Produkten benötigt, und werden deshalb nicht redundant bevorratet.

Modul 3 : CPS-Struktur

In einer fortgeschrittenen Betriebsart in Richtung CPS erscheinen die beiden Module 3a und 3b nach außen als Einheit, die keiner Leitfunktion durch ein MES-System bedarf. Den Redundanzbetrieb führen die beiden SPS untereinander aus. Hierbei dient Modul 3a (Sigmatek) als Redundanzmaster. Modul 3a führt sowohl den OPC-Server nach außen als auch einen OPC-Client für die Kommunikation mit dem OPC-Server in Modul 3b (B&R) aus.

Auch die Sequenzierfunktion wird im CPS-Betrieb von der Sigmatek-SPS ohne überlagerte Leitfunktion eigenständig ausgeführt.

Im CPS-Betrieb gilt folgende Schnittstellendefinition :

ORDER = 1 bestücke Teil A

ORDER = 2 bestücke Teil B

ORDER = 4 bestücke Teil C

ORDER = 8 bestücke Teil D

MESSAGE = 1 kein Teil A bestückbar (beide Lager leer)

MESSAGE = 2 kein Teil B bestückbar (beide Lager leer)

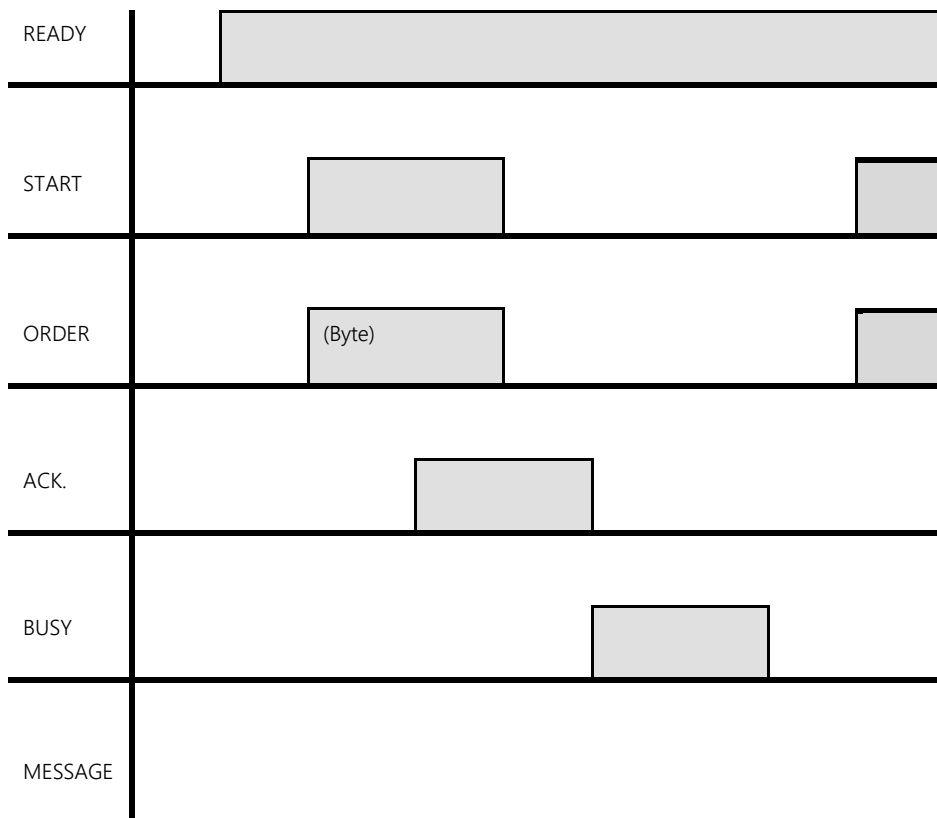
MESSAGE = 4 Teil C nicht bestückbar

MESSAGE = 8 Teil D nicht bestückbar



Standardprotokoll

Die Anlage ist streng modular aufgebaut, die Fertigungsmodule werden einheitlich vom MES-System über ein Standardprotokoll gesteuert :



Diese Signale realisieren ein einfaches Handshakeprotokoll :

Mit READY meldet ein Modul seine Betriebsbereitschaft.

Mit START kann MES eine Modulaktion anstoßen.

ORDER muß zeitgleich zu START (oder früher) anliegen, und übergibt die gewünschte Fertigungsvariante.

Mit ACKNOWLEDGE quittiert das Modul den START-Befehl. Dieser wird von MES daraufhin rückgesetzt. Erkennt das Modul dies, wird auch ACKNOWLEDGE wieder zurückgesetzt (Handshake-Prinzip).

Mit BUSY zeigt ein Modul, daß seine Mechanik eine Aktion ausführt. Die Aktion beginnt, sobald START rückgesetzt ist (Vorteile bei manuellem Test). Mit Ende der mechanischen Aktion geht BUSY auf Null.

Mit MESSAGE kann ein Modul Nachrichten an MES schicken.

Wichtig ist der sogenannte Nullauftrag. Ist ORDER=0, wird nach START zwar der Handshake mit ACKNOWLEDGE ausgeführt, die Mechanik tut aber nichts (folglich wird BUSY auch nicht 1).



IP-Konfiguration

Die Anlage läuft im AT-Labornetz 1.0.0.0 / 8 . Default-Gateway ist 1.0.3.0, Der DNS-Server ist 1.0.0.1

IP-Range der Anlage ist 1.0.7.0 bis 1.0.7.255.

SPS Modul 1 : 1.0.7.10

SPS Modul 2 : 1.0.7.20

SPS Modul 3a : 1.0.7.30

SPS Modul 3b : 1.0.7.31

Deltaroboter : 1.0.7.40

Hochregal : 1.0.7.50

Zulieferwerk : 1.0.7.100

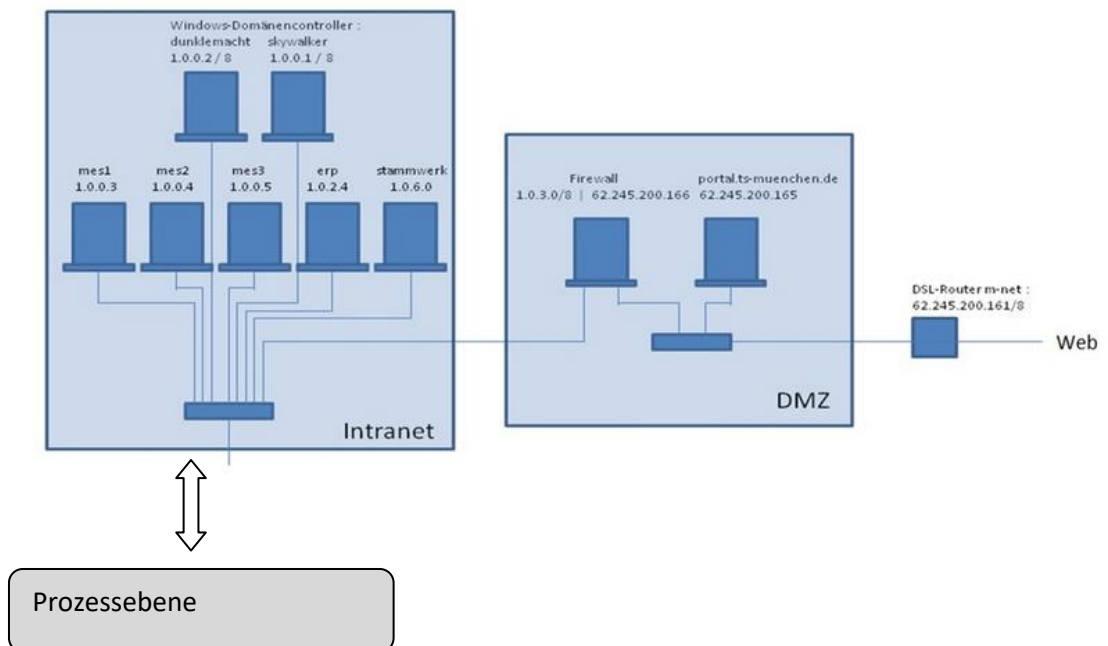
RFID-Controller 1 : 1.0.7.60

RFID-Controller 2 : 1.0.7.61

IT



Die IT der Anlage umfasst, neben den leistungsfähigen SPS, 9 Serversysteme (Windows und Linux), die auf 2 großen Servermaschinen virtuell konsolidiert sind. OPC-Server in allen SPS sorgen für durchgängige vertikale Vernetzung, eine symmetrische 2Mbit-Standardleitung ermöglicht Webpräsenz, Zugriff der Schüler auf die Servermaschinen aus dem Web (RDP), sowie die Übertragung einer steuerbaren Webcam zur Beobachtung von Versuchsabläufen (<http://portal.ts-muenchen.de>).



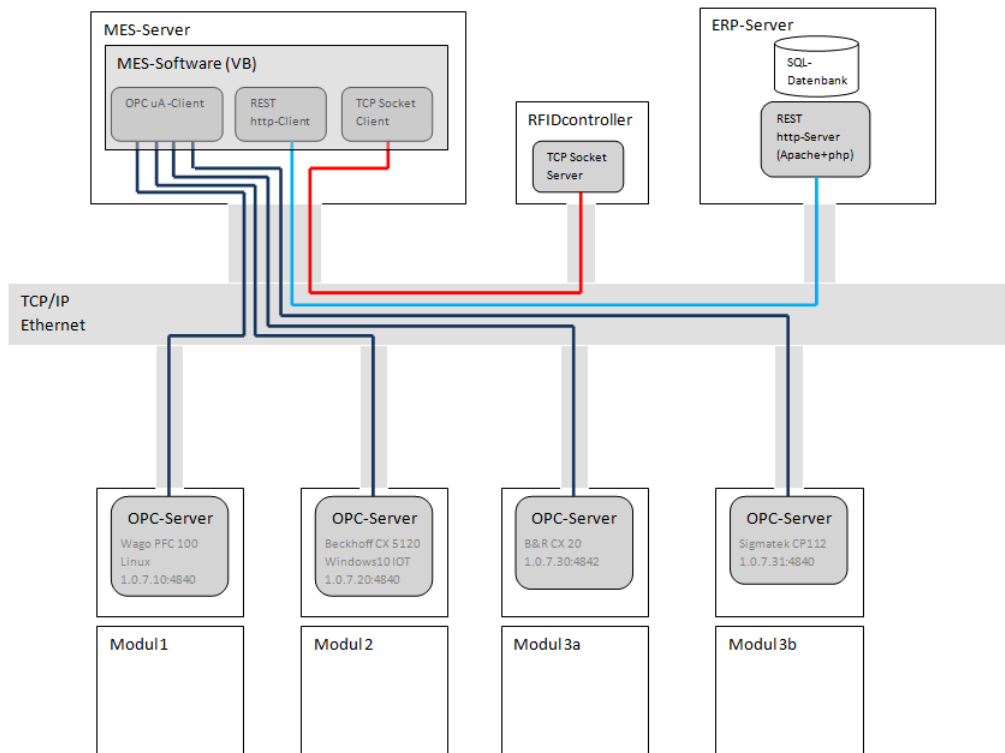


SPS-Technik

Die Prozessmechanik besteht aus Fertigungmodulen, die mit je einer SPS gesteuert werden. Üblicherweise wird in Schulen hier eine leicht zu betreuende, homogene Geräte-Landschaft angestrebt. Wir machen das Gegenteil : es werden 5 verschiedene SPS-Konzepte eingesetzt, um einen Überblick über fortschrittliche Steuerungs-Konzepte zu ermöglichen. In den Standard-Praktika wird ein Einblick in diese Konzepte vermittelt. In Projektarbeiten wird auf den SPS intensiv programmiert, die beteiligten Schüler besuchen bei den Herstellern 2-3 tägige Trainings.



Kommunikation





Ausblick

In weiteren Projektarbeiten wird die Anlage an eine Cloud (z.B. IBM Bluemix) angebunden. Hierzu sollen an Modul 3 Wartungsdaten generiert werden, die über das MQTT-Protokoll an die Cloud übertragen und im MES-System dann zur Planung vorbeugender Wartung genutzt werden.

Weiter sollen die Zulieferfahrzeuge über WLAN und MQTT supply-state Daten abgeben (publisher), die von MES und Zulieferwerk als subscriber zur Steuerung des Zuliefervorgangs genutzt werden.

Längerfristig ist die Integration echtzeitfähiger Ethernetsegmente geplant (TSN ?), die noch zu entwickelnde, echtzeitkritische Peripheriekomponenten (z.B. Verpackung) steuern.