



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

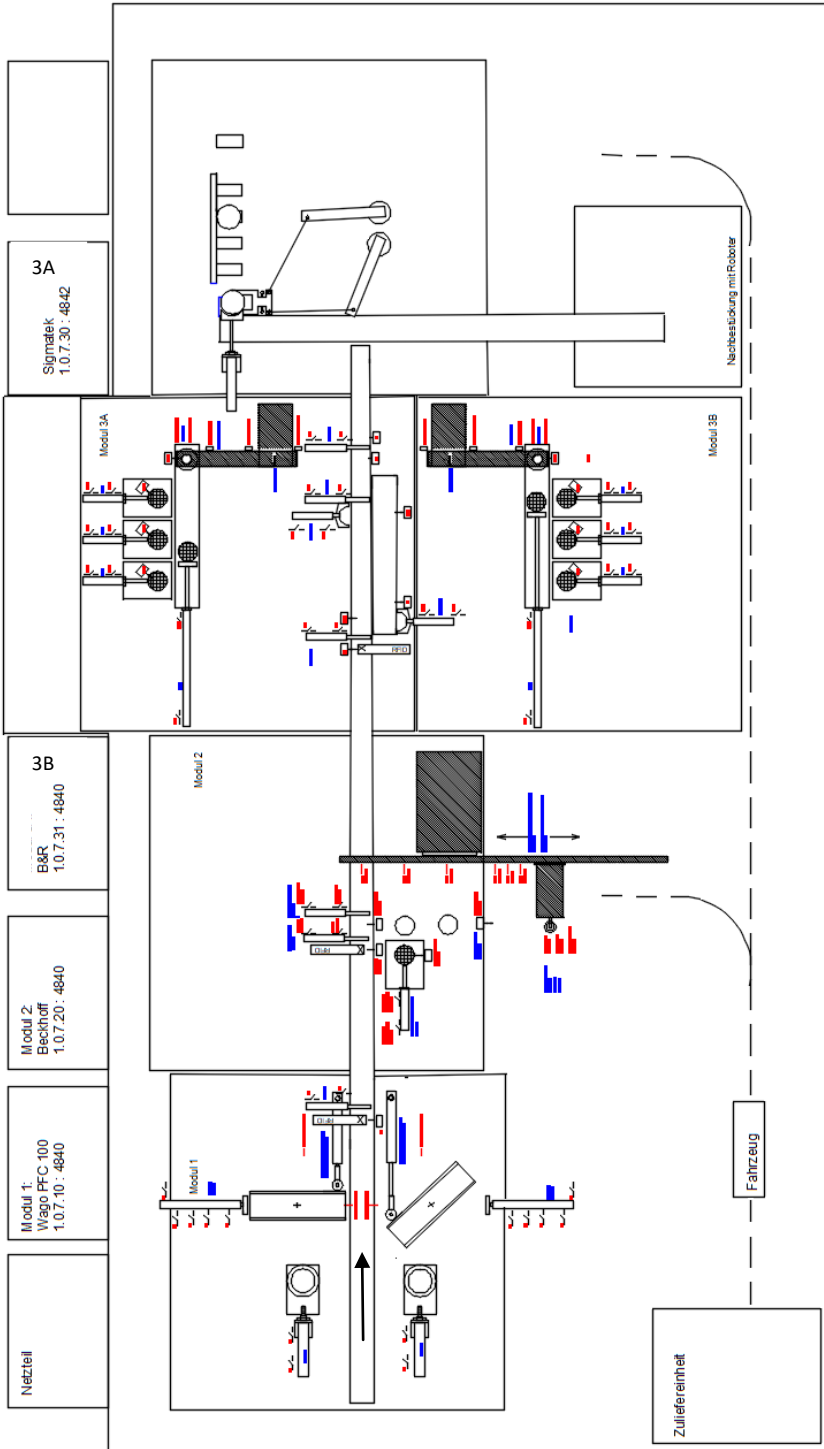
Die "Wertschöpfung" findet entlang einer gemeinsamen Transportband-Einheit statt. Zunächst 3 Module stellen Produkte aus 3 Bauteilen in Losgröße 1 her. Diese können in einem Onlineshop aus 24 Varianten bestellt werden.

Modul 1 stellt in Losgröße 4 den Grundkörper bereit.
(Im Modell z.b. ein Chassis für ein Fahrzeug)

Modul 2 bestückt Zulieferteile, die später just-in-time und just-in-sequence von einem Zulieferwerk mit autonom navigierenden Fahrzeugen bereitgestellt werden.
(Im Modell vielleicht Räder).

Modul 3 bestückt redundant das dritte Bauteil.
(Im Modell vielleicht Sitze).

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



Vorbild :

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. Die Aufträge müssen entsprechend sequenziert werden. Erst bei Verlassen des Moduls erhalten die Produkte am RFID-Writer eine eindeutige Produkt-ID ("Produkttaufe"). In der KFZ-Industrie wird diese Technik „späte Auftragszuordnung“ genannt („late Order binding“).

Modell :

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" ist.

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).

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

Order = 1	Teil A auf Transportband bestücken
Order = 2	Teil B auf Transportband bestücken
Order = 3	Produkt freigeben (Tor auf)
Order = 4	Produkt stoppen (für Produkttaufe)
Order = 5	Reset für Bauteilcounter (Kanbanzähler)
Order = 10	Testfunktion (Tor auf/zu)
Order = 11	Reset, ohne Handshake
Message = 1	Schachtlager A Kanban-Vorgang
Message = 2	Schachtlager B Kanban-Vorgang

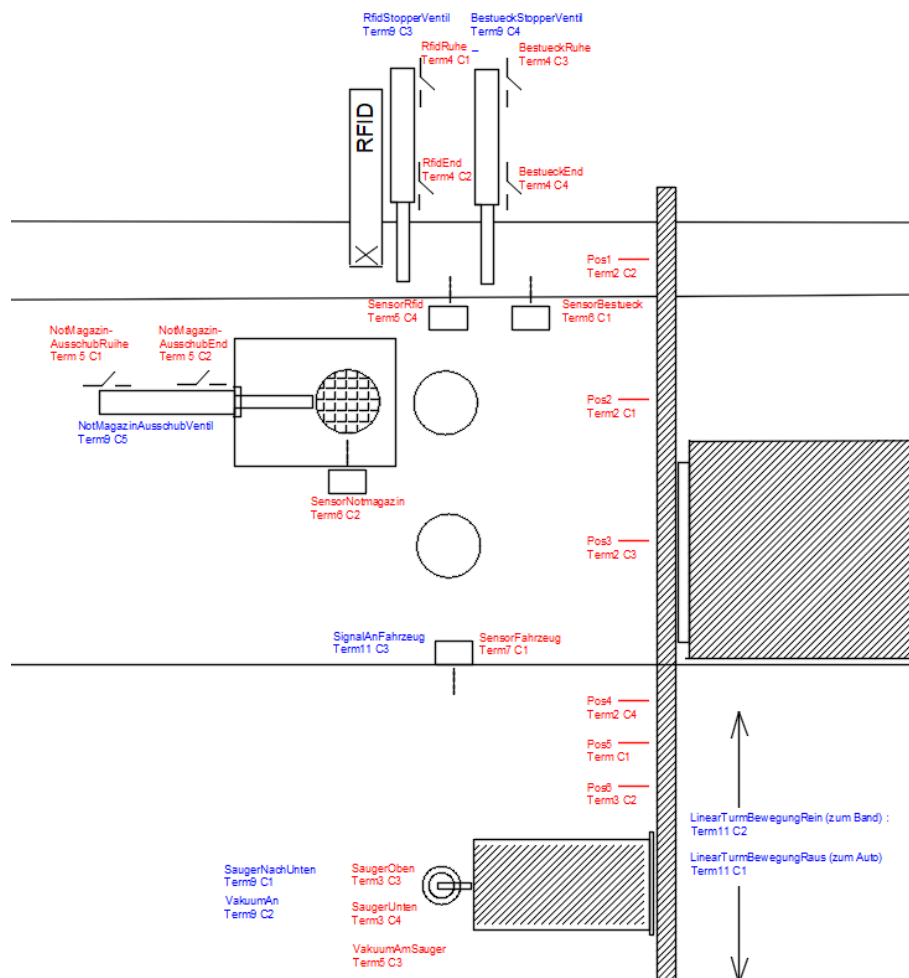
Nach jeder Order ein Start/Acknowledge – Handshake !

Möglicher Ablauf :

Vor Anlaufen werden alle Paletten gefüllt, Modul 1 erhält einen Reset für die Kanbanzähler. Nun werden nach jedem Start Bauteile bestückt, zuerst 4 aus Palette 1, dann 4 aus Palette 2 usw. Nach Bestückung eines Bauteils schließt Modul 1 das RFID-Tor. Damit ist die Modulaktion beendet. Es kann nun die Produkttaufe stattfinden. Anschließend gibt MES durch Öffnen des Tors das Produkt frei.



Modul 2 : supply chain



Vorbild :

Wie in viele Modulen moderner Fertigungsbetriebe, weist Modul 2 keine eigene Lagerhaltung auf, sondern wird von einem Zulieferwerk mit Material versorgt. 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“.

Modell :

Wenn ein Produkt auf dem Transportband in das Modul einfährt, wird es unter dem RFID-Reader gestoppt. MES kann nun die RFID-Info auslesen (lesen des RFID und prüfen auf korrektes Zulieferteil wird erst im nächsten Projektjahr realisiert). 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 durch Aufforderung von MES wird in der am Produkt vermerkt.

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

Order = 1	Standardbestückung (supply-Lager)
Order = 2	Notbestückung aus Schachtlager
Order = 4	Fahrzeug entleeren : in Vorbereitung
Order = 5	Fahrzeug freigeben : in Vorbereitung
Order = 10	Testfunktion (Tore auf/zurück)
Order = 11	Reset (kein HS, nur Start)

Message = 1	supply-Lager leer
Message = 2	Notlager leer
Message = 4	Fahrzeug angekommen

Nach jeder Order ein Start/Acknowledge – Handshake !

Möglicher Ablauf :

Schachtlager und Zulieferlager (3 Teile) werden zunächst befüllt. (Einlaufende Produkte werden am RFID gestoppt, um die Zuliefersequenz in der nächsten Ausbaustufe nach Produkt-ID prüfen zu können). Nach Bestückungsauftrag durch MES öffnet sich das RFID-Tor, und schließt bei erkanntem Produkt (Sensor) wieder, Ausgangstor schließt ebenfalls. Ein Bauteil wird bestückt. Nun öffnet sich das Ausgangstor, damit ist die Modulaktion beendet.

Vorbild :

Redundanz : Kritische Produktionsschritte mit größerer Ausfallwahrscheinlichkeit werden oft redundant ausgeführt, das heißt, mehrere identische Baugruppen werden parallel angeordnet. Bei Ausfall einer Komponente übernimmt eine andere die Funktion. Wenn die Baugruppen alle ständig arbeiten, spricht man von hot standby, läuft die Reserveeinheit erst bei Ausfall hoch, von cold standby.

Sequenzierereinheit : Im Produktionsablauf einer Anlage kann es zu Störungen kommen. Maschinen fallen aus, Lager laufen leer, usw.. Bei Betrieb in Losgröße 1 kann dies aufgefangen werden. Die Perlenkette wird so umsequenziert, daß die ausgefallene Funktion (z.b. eine Lackfarbe) für die gewählten Produkte nicht benötigt wird. Dazu benötigt man ein Pufferlager, das die vorübergehend nicht bararbeitbaren Produkte ausschleift. Nach Wiederherstellung der ausgefallenen Funktion werden die gepufferten Produkte wieder in den Prozess eingeschleift.

Modell :

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.

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

Order = 1	Bauteil 1 bestücken (linke Mechanik)
Order = 2	Bauteil 2 bestücken
Order = 3	Bauteil 3 bestücken
Order = 4	Produkt (RFID-Position) in Bestückposition fahren *
Order = 5	Bauteil nach Bestückung freigeben *
Order = 10	Testfunktion (Tore auf/zu)
Order = 11	Reset

Message = 1	Bauteilschacht 1 leer
Message = 2	Bauteilschacht 2 leer
Message = 4	Bauteilschacht 3 leer

Nach jeder Order ein Start/Acknowledge – Handshake !

Möglicher Ablauf :

In jedes Schachtlager einige Teile, Paletten leer.

Alle Schranken sind offen, Band muß laufen.

Teil durchläuft Eingangstor : Eingangstor und Ausgangstor schließen. Soll RFID gelesen werden, muß MES das RFID-Tor zusätzlich schließen und nach dem Lesevorgang wieder öffnen.

Das Produkt läuft ein, es erfolgt der Bestückungsauftrag .

Produkt wird bestückt. Damit ist die Modulaktion beendet, MES öffnet Eingangs- und Ausgangsschranke.

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`

Diese Nachrichten werden ohne Handshake übertragen !

Node Sequenzierer :

Order = 1 Bauteil ausschleifen

Order = 2 Bauteil einschleifen

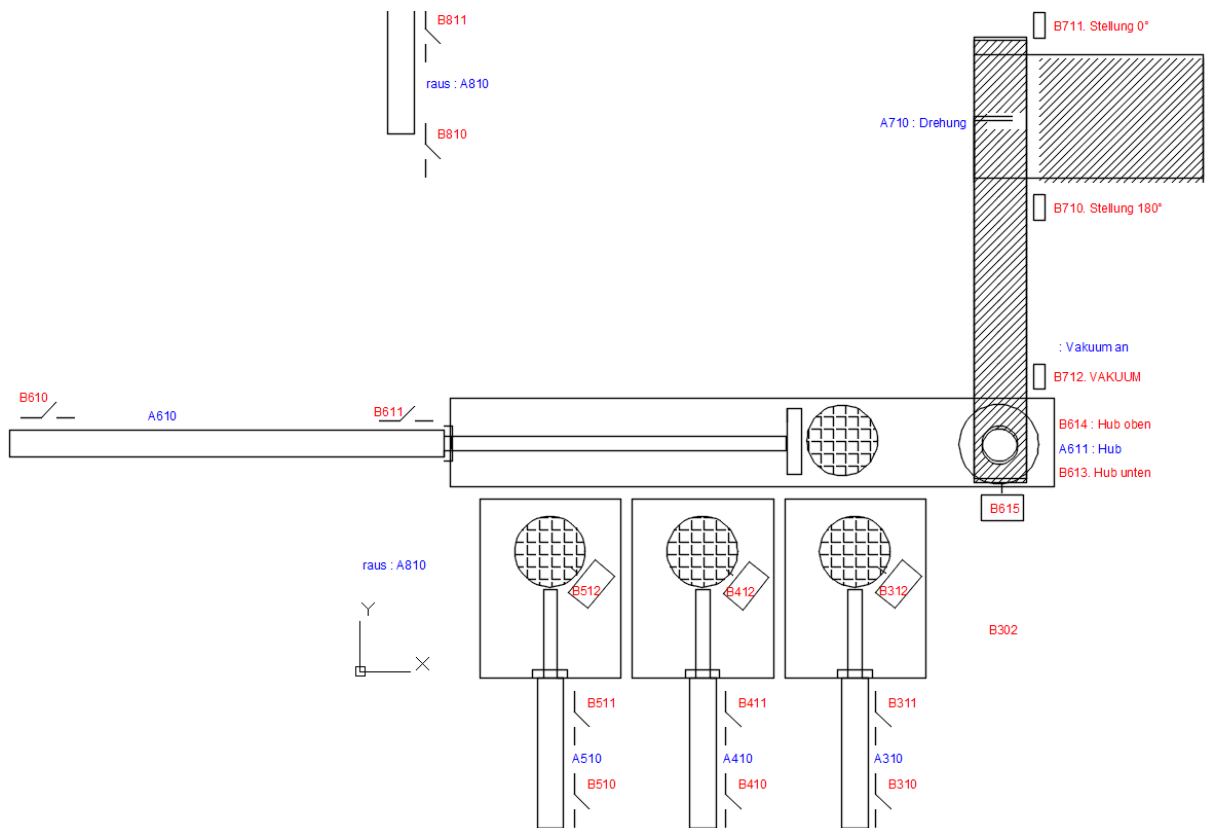
Node Bandsteuerung :

HauptbandSpeed : 0..100 (leiser Betrieb bei ca. 30..50)

QuerbandSpeed : 0..100



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

Order = 1	Bauteil 1 bestücken
Order = 2	Bauteil 2 bestücken
Order = 3	Bauteil 3 bestücken
Order = 10	Testfunktion (Palettenschieber raus/rein)
Order = 11	Reset
Message = 1	Bauteilschacht 1 leer
Message = 2	Bauteilschacht 2 leer
Message = 4	Bauteilschacht 3 leer

Nach jeder Order ein Start/Acknowledge – Handshake !

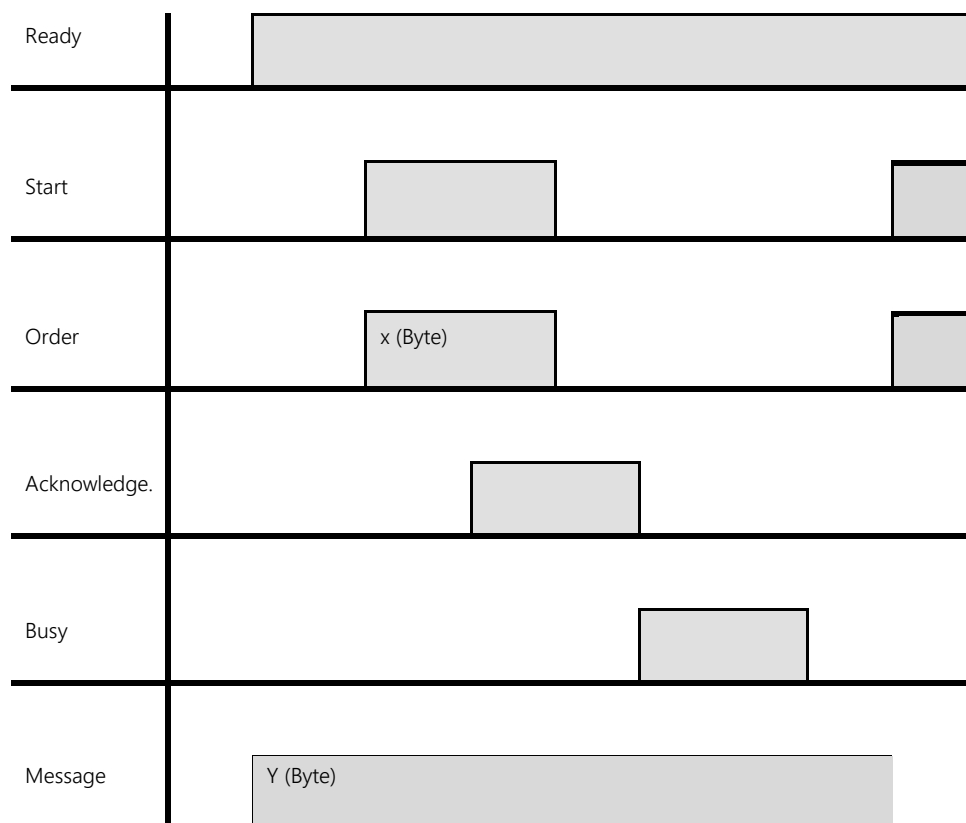
Möglicher Ablauf :

Wie in Modul 3a beschrieben, nur die Bestückung wird von Modul 3b ausgeführt.



Standardprotokoll

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



Diese Signale realisieren ein einfaches Handshakeprotokoll :

Mit Ready = 1 meldet ein Modul seine Betriebsbereitschaft.

Mit Order (Byte) wird die Information von MES zur SPS geschickt, welches Bauteil (Lager) bestückt werden soll.

Mit Start wird der Bestückungsvorgang angestoßen. Start darf nur erteilt werden, wenn Busy = 0 und Ready = 1 anliegt.

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 diesem Zeitpunkt wird die Mechanik in Betrieb gesetzt.

Mit Busy zeigt ein Modul, daß seine Mechanik eine Aktion ausführt. Mit Ende der mechanischen Aktion geht Busy auf Null.

Order muß zeitgleich zu Start (oder früher) anliegen.

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).

Mit Message kann ein Modul Nachrichten an MES schicken.



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

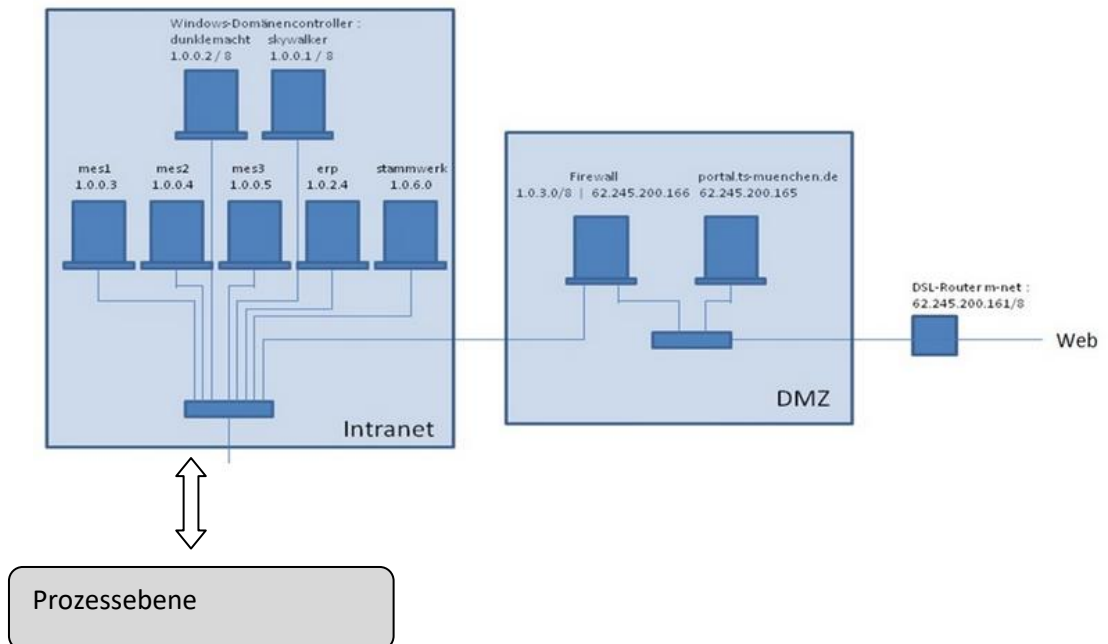
RFID-Controller 1 : 1.0.7.60

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>).



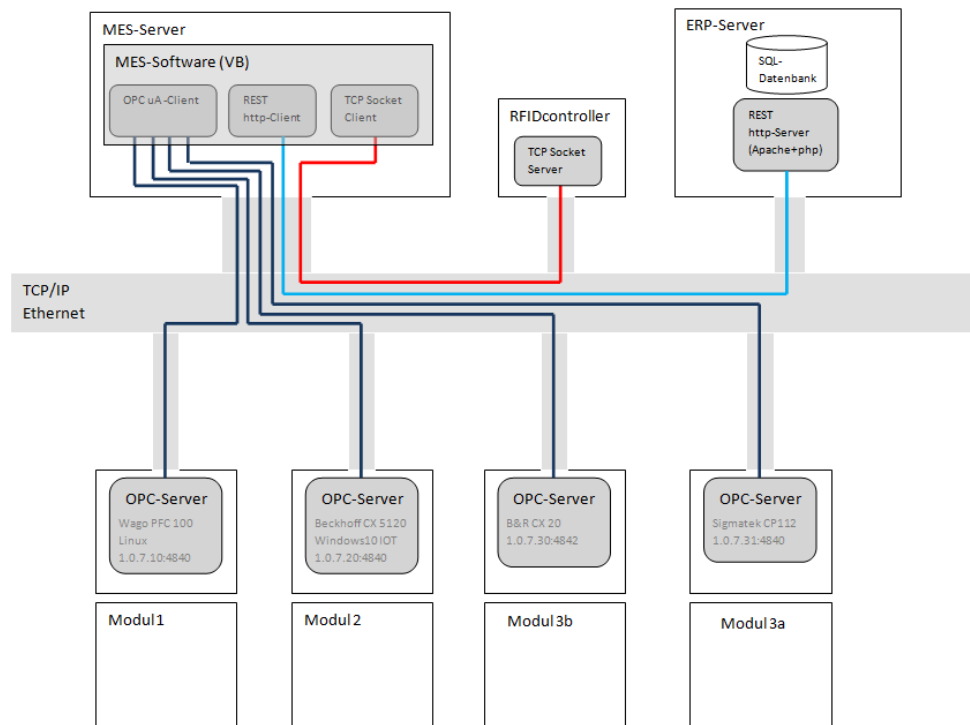


SPS-Technik

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.