



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

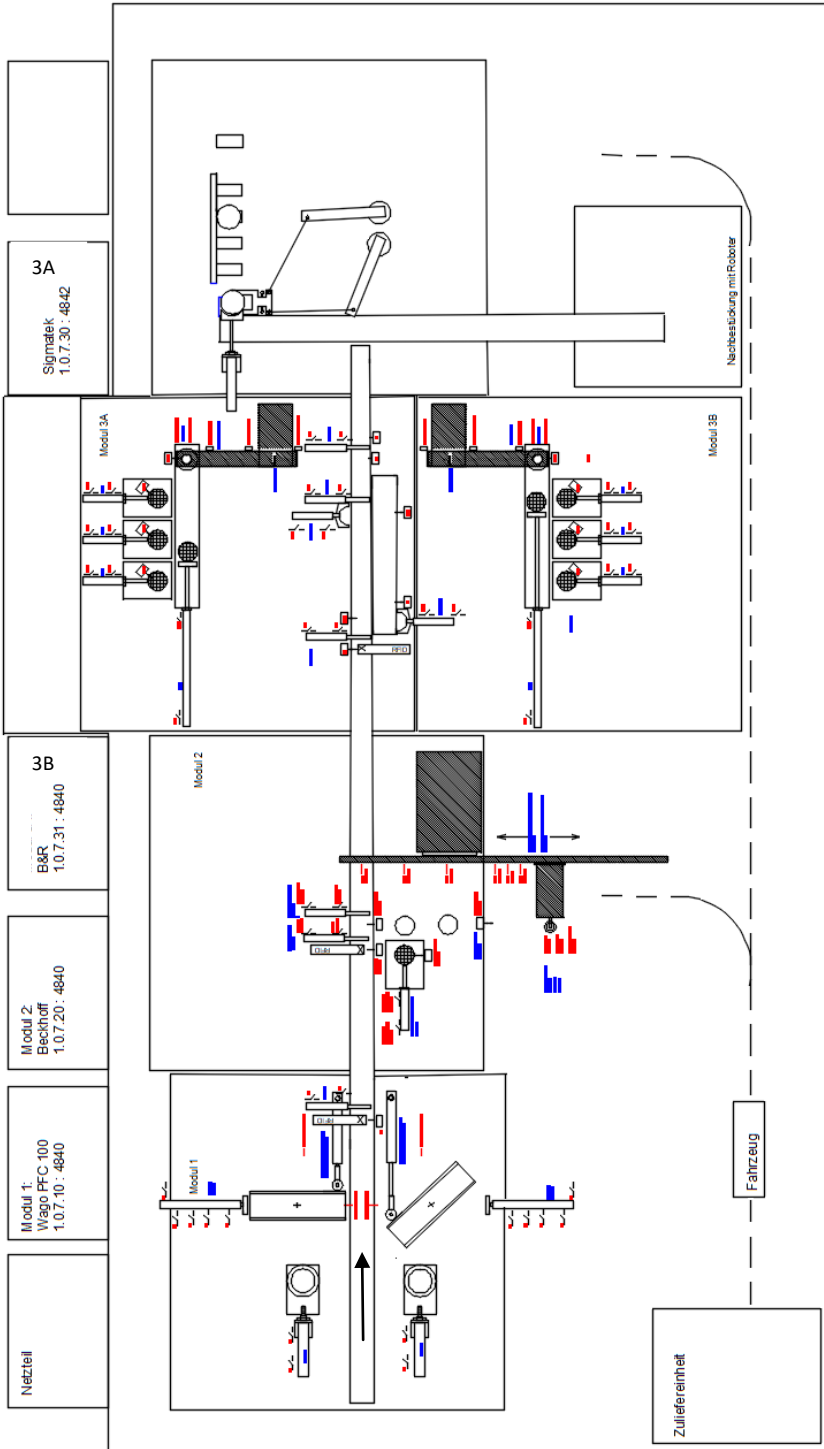
Die "Wertschöpfung" findet entlang einer gemeinsamen Transportband-Einheit statt. Zunächst 3 Module stellen Produkte aus je 3 Bauteilen in Losgröße 1 her. Diese können in einem Onlineshop aus 24 Varianten bestellt werden.

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).

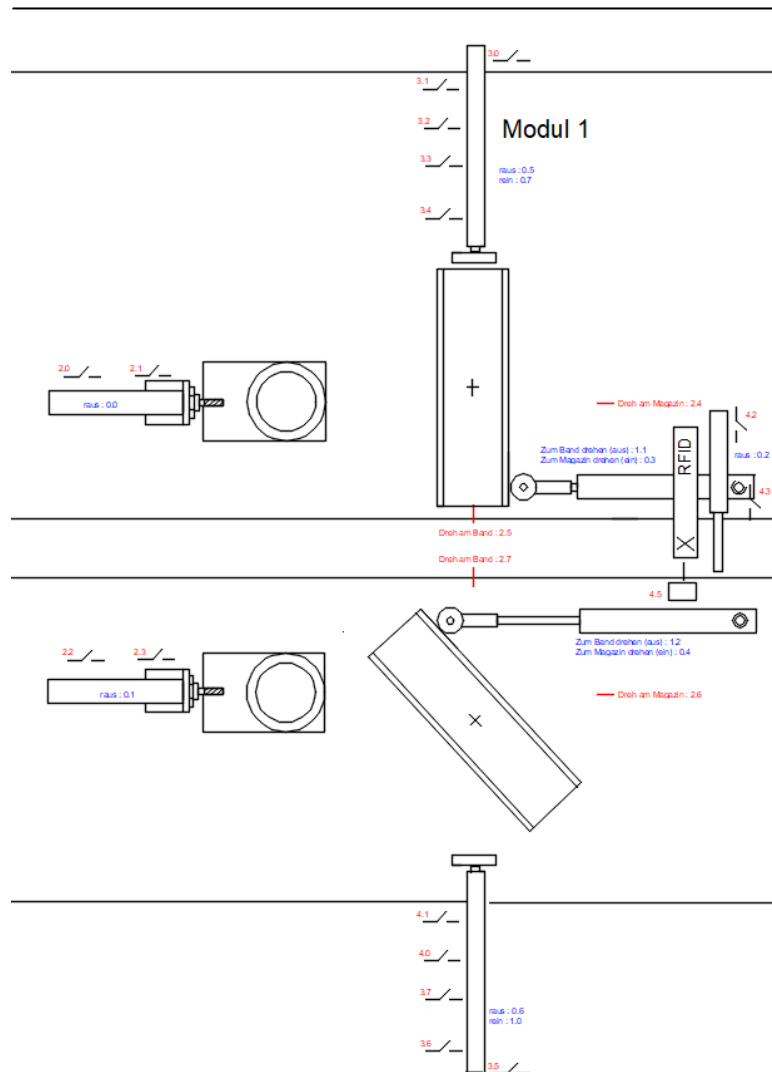
Modul 3 bestückt in redundantem Aufbau das dritte Bauteil.
(Im Modell vielleicht Sitze).

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





Modul 1 : Losgröße n



Modellmotivation :

In realen Industrieanlagen treffen theoretische Konzepte wie z.B. Losgröße 1 in I4.0, 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 wird vom Modul selbst mit digitalem Kanban durchgeführt. (de.wikipedia.org/wiki/Kanban).

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

Funktionsbeschreibung :

Mit Order = 1 wird aus Palette A, mit Order= 2 aus Palette B jeweils ein Teil aufs Band geschoben. Als digitale Kanban-Karte für die Lagerverwaltung dient 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 kann aber gleichzeitig weiter arbeiten).

Bandbedienung :

Bei Betrieb in loser Kopplung mit RFID muß zur Ermöglichung der Produkttaufe von MES die Ausgangsschranke bedient werden. Sie ist vor Bestückung zu schließen, und nach erfolgter Produkttaufe zu öffnen.

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 an RFID (Tor zu)

Order = 10 Testfunktion (Stopper auf/zu)

Order = 11 Reset, ohne Handshake, nur Start

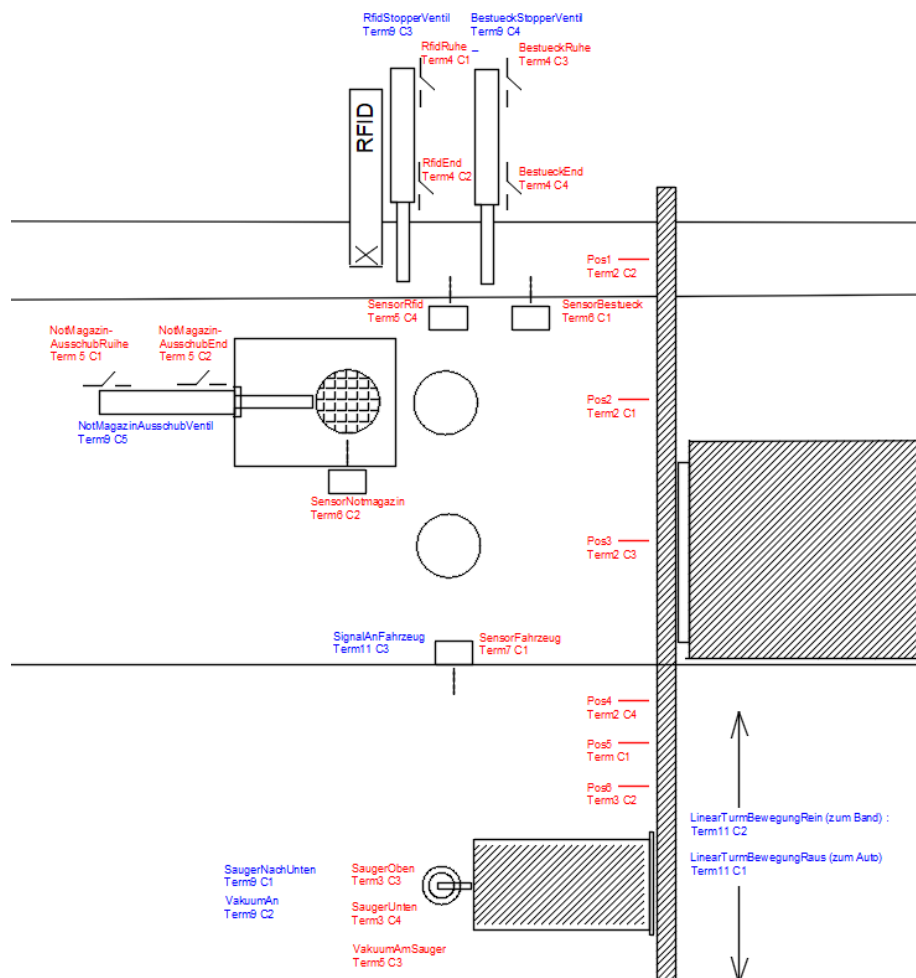
Message = 1 Schachtlager A Kanban-Vorgang

Message = 2 Schachtlager B Kanban-Vorgang

Das Timing der Modulfunktion geschieht über die Standard-schnittstelle (Handshakeprotokoll) : Ready, Start, Busy und Acknowledge (siehe Seite 19).



Modul 2 : supply chain



Modellmotivation:

In modernen Industrieanlagen wird ein Großteil der montierten Komponenten nicht selbst hergestellt, sondern von Zulieferern bezogen. Die Lieferkette arbeitet just-in-time und just-in-sequence. In der Modellfabrik weist Modul 2 keine eigene "Fertigung" und Lagerhaltung auf, sondern wird von einem Zulieferwerk mit Material versorgt. Zwei Zulieferfahrzeuge liefern zum richtigen Zeitpunkt und in der für Losgröße 1 richtigen Reihenfolge Bauteile für das aktuell laufende Produktmuster (Perlenkette). Ein Pick-and-place Automat holt die Bauteile vom Fahrzeug und bestückt dann die Produkte. Die Sequenz der Zulieferteile kann damit nicht geändert werden. Modul 2 bestückt zwar in Losgröße 1, das Muster der Perlenkette ist aber durch die Zulieferung festgelegt, man nennt dies „gefrorener Horizont“. Bei Problemen im Zulieferprozess kann aus einem Reservelager Notbestückung erfolgen, um den Gesamtprozess nicht zu gefährden.

Mechanik :

Wegen noch nicht zur Verfügung stehender Zulieferinfrastruktur ist aktuell nur "Notbestückung" möglich.

Ein erfolgtem Bestückungsbefehl öffnet der RFID-Stopper. Wenn ein Produkt auf dem Transportband in das Modul einfährt, läuft es unter dem RFID-Reader durch bis zur Bestückungsposition. Der Bestückungs-Stopper dort hält es an, der RFID-Stopper schließt sich (Vereinzellung). Nun erfolgt die Bestückung. Wenn die Bestückung ausgeführt ist, öffnet sich der Bestück-Stopper, das Produkt fährt aus Modul 2 aus, die Stopper gehen in Grundstellung.

Bandbedienung :

Bei Betrieb in loser Kopplung mit RFID müssen die Produkte unter dem RFID-Reader gestoppt werden. Hierzu ist der RFIDs-Stopper rechtzeitig zu schließen. MES liest die Produkt-ID (RFID) und gibt den Bestückungsbefehl (mit Order). Der RFID-Stopper wird geöffnet und der Bestückungs-Stopper geschlossen. Das Produkt fährt in Bestückungsposition. Wenn die Bestückung ausgeführt ist, muß MES den Bestückungs-Stopper öffnen und das Produkt fährt aus Modul 2 aus.

OPC-Schnittstelle :

opc.tcp://1.0.7.20:4840

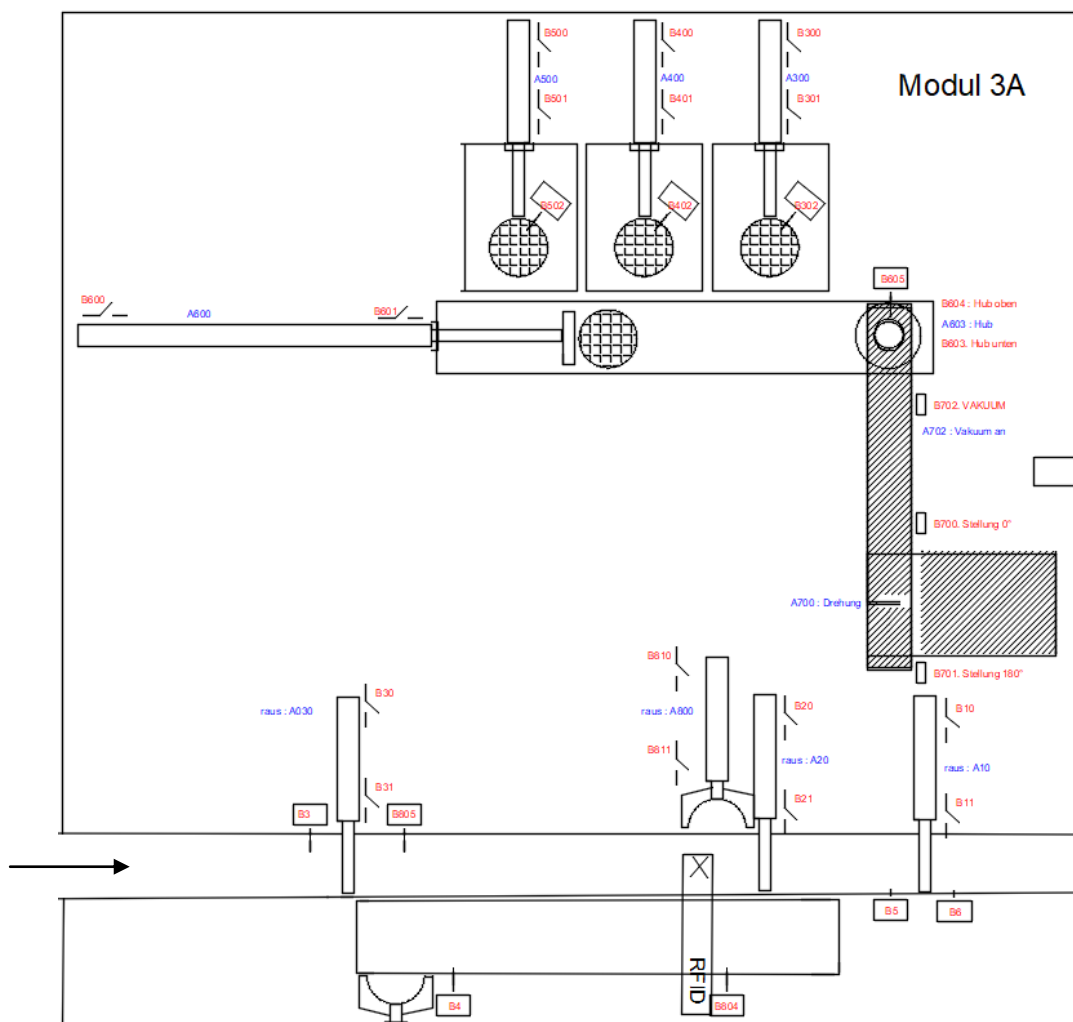
Order = 1	Standardbestückung (supply-Lager)
Order = 2	Notbestückung
Order = 3	RFID-Stopper öffnen
Order = 4	RFID-Stopper schließen
Order = 5	Bestueck-Stopper öffnen
Order = 6	Bestueck-Stopper schließen
Oder = 10	Mechaniktest
Order = 11	Reset (kein HS, nur Start)

Message = 1	supply-Lager leer (bedingt funktionsfähig)
Message = 2	Notlager leer (bedingt funktionsfähig)

Das Timing der Modulfunktion geschieht über die Standardschnittstelle (Handshakeprotokoll) : Ready, Start, Busy und Acknowledge (siehe Seite 19).



Modul 3 : Sequenzieren



Modellmotivation:

In modernen, realen Anlagen können Fertigungsmodule auf Fehler im Prozessablauf reagieren (Resilienz). Bei Problemen z.B. mit Materialnachschub kann am Moduleinlauf die Perlenkette umsequenziert werden, so daß Produkte, deren Fertigung aktuell nicht möglich ist, nach hinten geschleift werden.

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). Zur Ermittlung der nötigen Variante wird unabhängig von der Reihenfolge immer am aktuellen Produkt die Produkt-ID gelesen (RFID) und damit über einen XML-Webservice aus der ERP-Datenbank die Stücklisteninformation (=Fertigungsauftrag) eingeholt.

Mechanik :

Der Stopper am RFID-Controller dient als Eingangsschranke. Er schließt, sobald er von einem Produkt passiert wurde (Vereinzelung) Es baut sich davor ggf. ein Produktpuffer auf. Das durchgelaufene Produkt wird am Bestückungsstopper angehalten, die Bestückung wird ausgeführt. Nach fertiggestellter Bestückung wird das Produkt am Ausgangstopper freigegeben (Produkt fertiggestellt), und an der Eingangsschranke das nächste Produkt vereinzelt.

Bandbedienung :

Bei Betrieb in loser Kopplung mit RFID müssen die Produkte unter den RFID-Leser angehalten werden. Hierzu schließt MES die RFID-Schranke, und öffnet sie nach Lesen der Produkt-ID wieder.

Bei Redundanzbetrieb muß die gesamte Stopperbedienung für die Bestückfunktion von Modul3b durch Modul3 ausgeführt werden (Die Stopper hängen an der SPS von Modul3)

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	RFID-Tor auf (für lose Kopplung)
Order = 5	RFID-Tor zu (für lose kopplung)
Order = 6	Ausgangstor auf (für Redundanzbetrieb 3b)
Order = 7	Ausgangstor zu (für Redundanzbetrieb 3b)
Order = 8	Eingangstor auf (für Redundanzbetrieb 3b)
Order = 9	Eingangstor zu (für Redundanzbetrieb 3b)
Order = 10	Testfunktion (Tore auf/zu)
Order = 11	Reset

Message = 1	Produkt hat Eingangsschranke passiert
Message = 2	Produkt liegt in Bestückungsposition

Das Timing der Modulfunktion geschieht über die Standardschnittstelle (Handshakeprotokoll) : Ready, Start, Busy und Acknowledge (siehe Seite 19).

Wenn Modul 3 bestückt, werden die Tore vom Modul intern bedient. Bestückt wird erst, wenn Teil in Position (Message=2).



Montageband

Die Komponenten "Montageband" (ganze Anlage) und "Sequenzereinheit" werden über den OPC-Server in Modul 3a gesteuert. Der OPC-Server des Moduls bietet dazu eine jeweils eigene Standardschnittstelle an :

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

Sequenzierer :

SequenzOrder = 1 Bauteil ausschleifen

SequqnzOrder = 2 Bauteil einschleifen

Bandsteuerung :

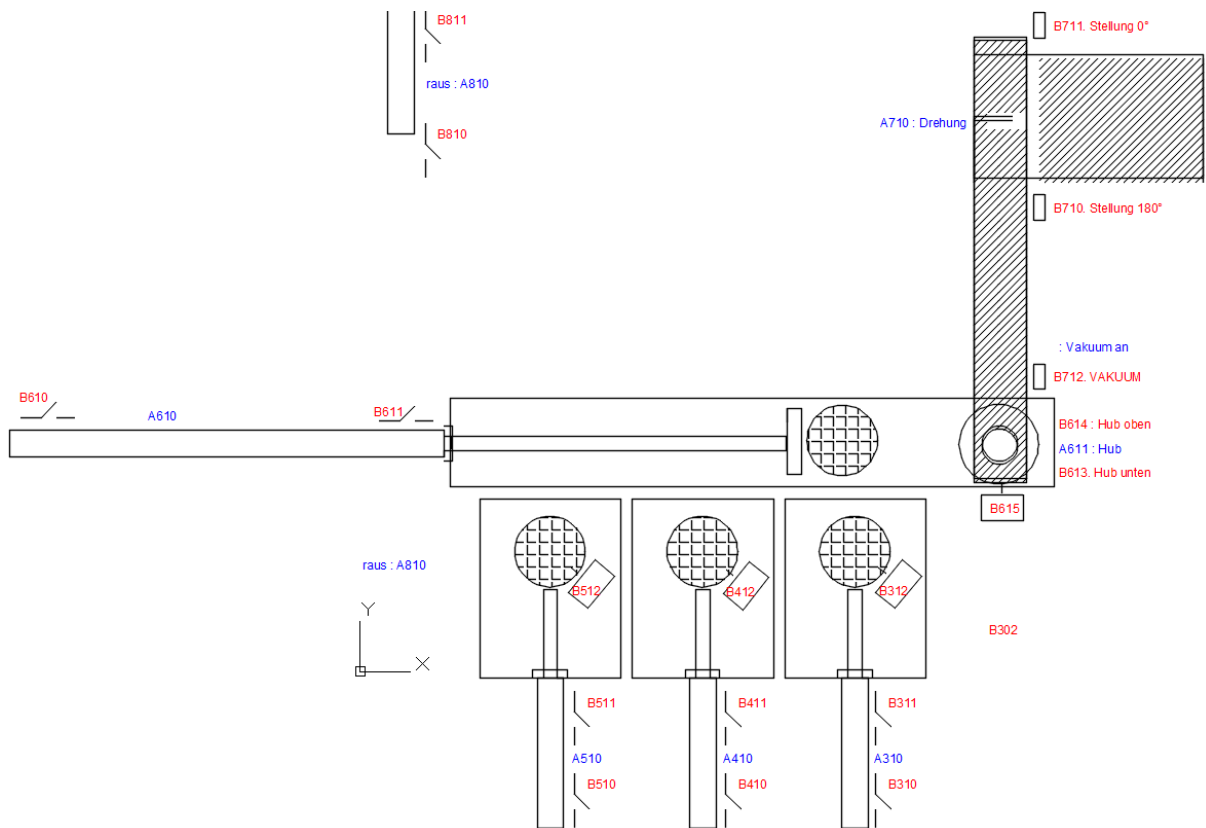
HauptbandSpeed : 0...100, aus = 0, normal = 45)

QuerbandSpeed : 0...100, aus = 0, normal = 45)

Diese Nachrichten werden ohne Handshake übertragen !



Modul 3b : Redundanz



Der in Produktionsrichtung rechte Modulteil 3b 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

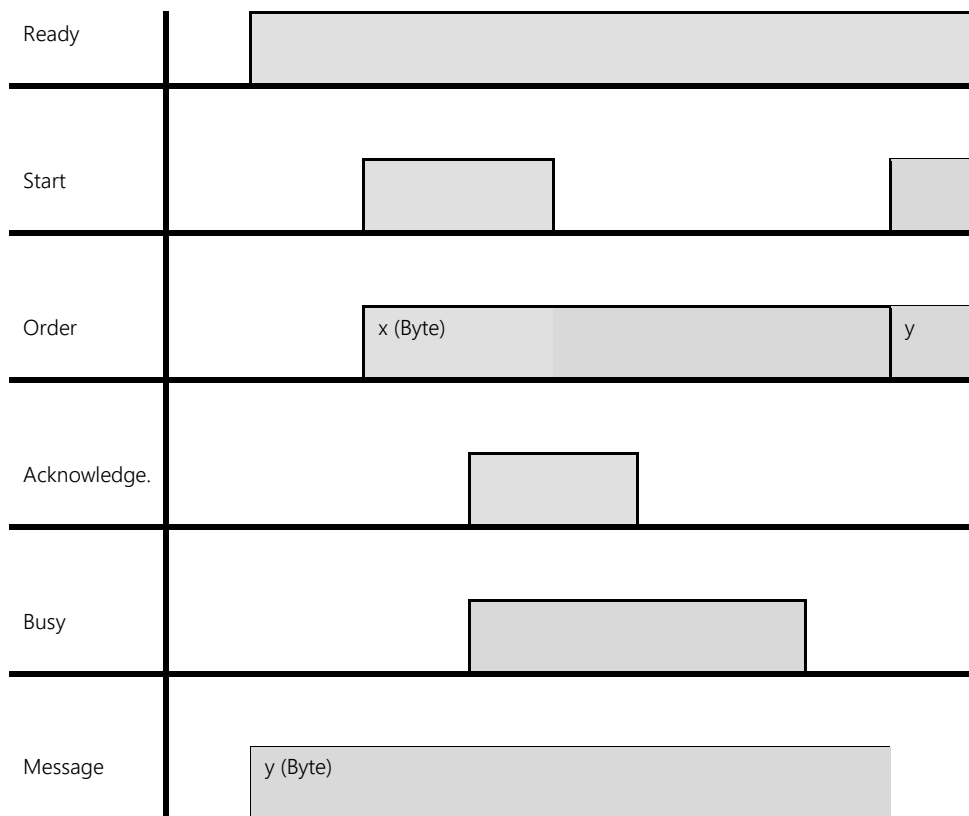
Dazu müssen an Modul 3 die dort beschriebenen Bandsteuerfunktionen mithilfe der Stopper zeitlich passend ausgeführt werden !

Das Timing der Modulfunktion geschieht über die Standardschnittstelle (Handshakeprotokoll) : Ready, Start, Busy und Acknowledge (siehe Seite 19).



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 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, und wird nicht zurückgesetzt.

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, DNS-Server ist 1.0.0.1

IP-Range der Anlage : 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

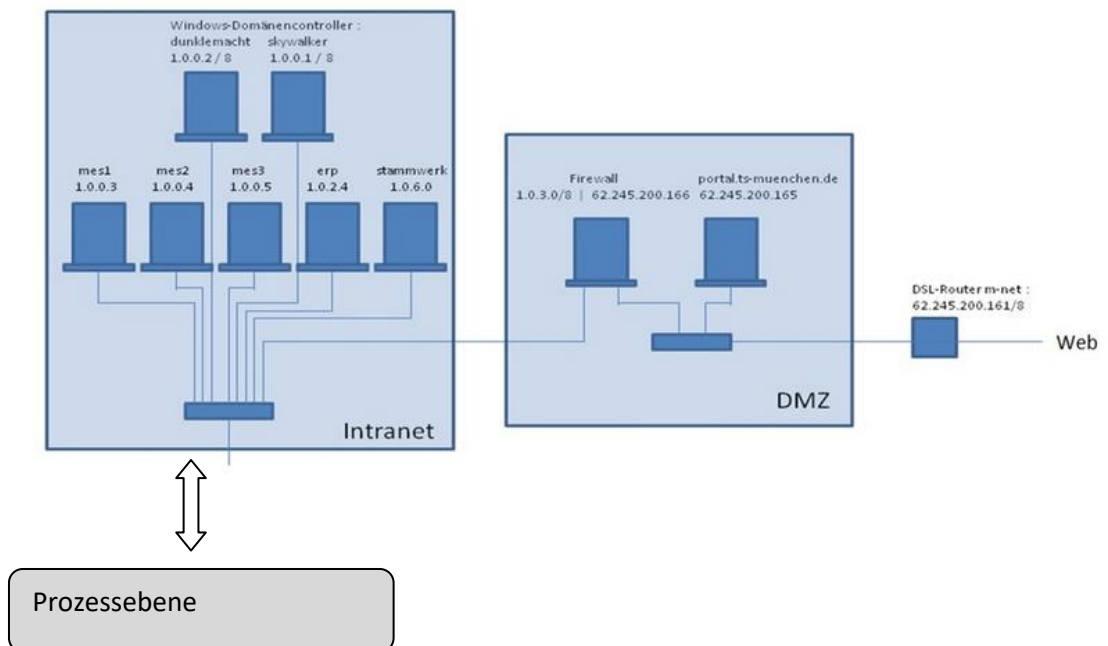
Zulieferwerk : 1.0.7.100

RFID-Controller : 1.0.20.3 (Port 33000)

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>).





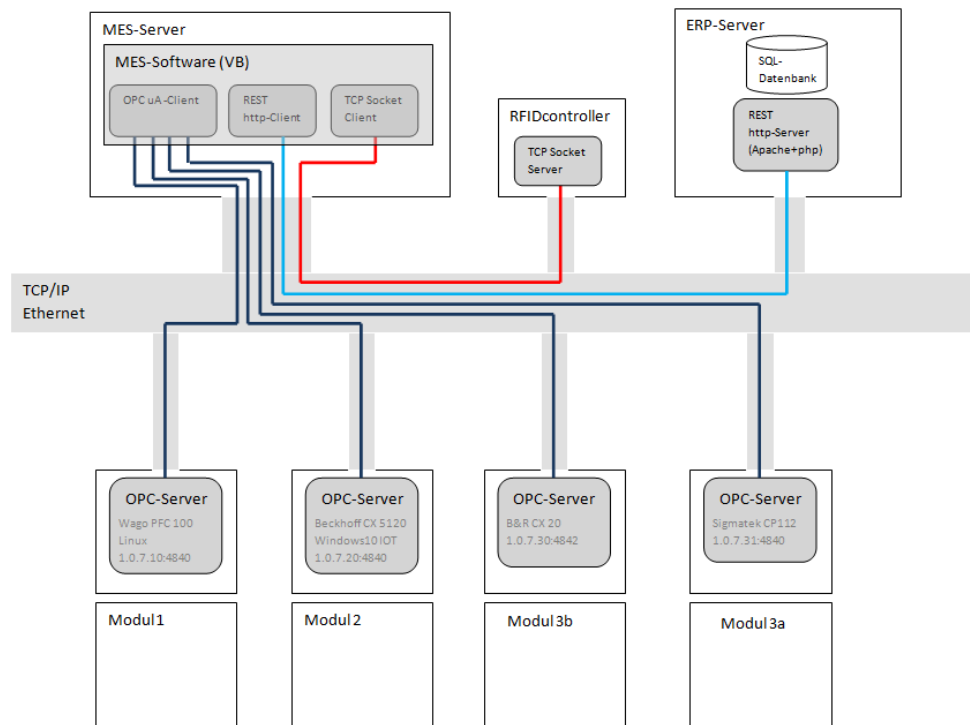
SPS-Technik

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.

Modul 1 : Wago / Codesys	PFC100 (Linux)
Modul 2 : Beckhoff	CX5120 (Windows10 - TwinCat)
Modul 3 : Sigmatek	CP112 (Lasal)
Modul 3b : B&R	CX20 (Automation Studio)



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 entstehenden autonomen 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.