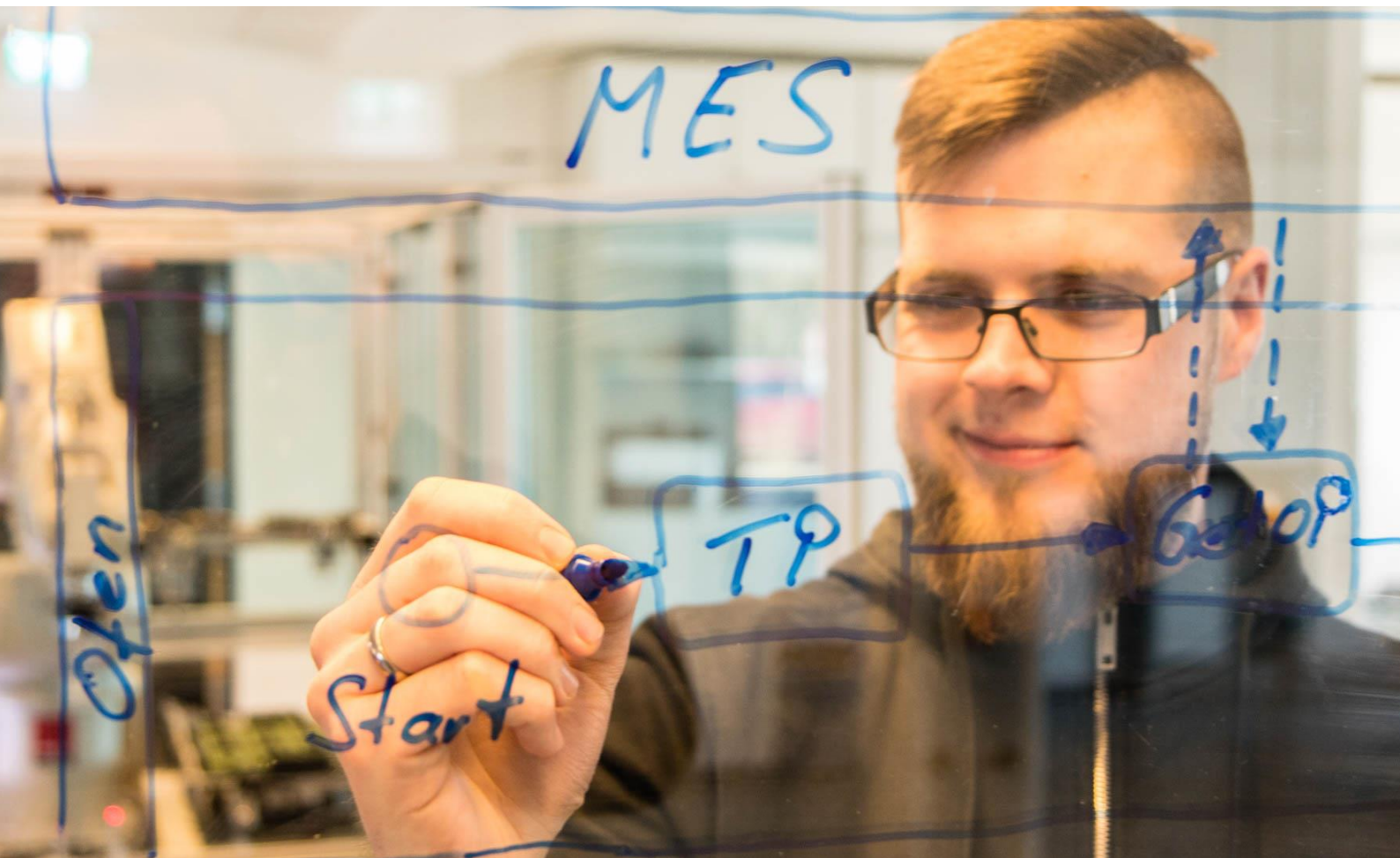


# sfm MES

Ein Manufacturing Execution System für das smart factory model



Version 1.2.BETA

Stefan Sayk



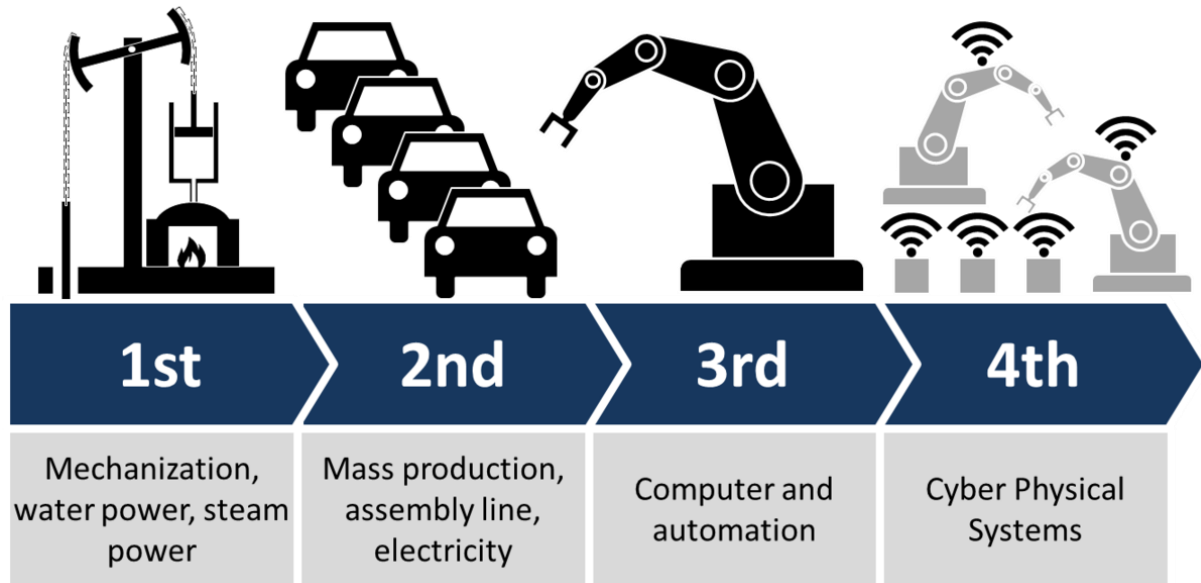
Dieses Werk ist lizenziert unter einer [CC BY SA 4.0 International Lizenz](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Der Name des Urhebers soll bei einer Weiterverwendung wie folgt genannt werden: Stefan Sayk

## Inhalt

Industrie 4.0 / Smart Factory.....	3
Smart Factory Model.....	4
Mögliche Produktionsszenarien .....	5
MES.....	8
Installation MES.....	8
Oberfläche und Bedienung.....	9
Architektur.....	10
Stammdaten .....	10
Kommunikation .....	12
MES / SPS.....	12
Protokoll .....	12
MES-Methoden .....	13
MES / ERP .....	14
MES / Datenbank.....	14
MES / Data Intelligence .....	15

## Industrie 4.0 / Smart Factory



"Dieses Foto" von Unbekannter Autor ist lizenziert gemäß [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

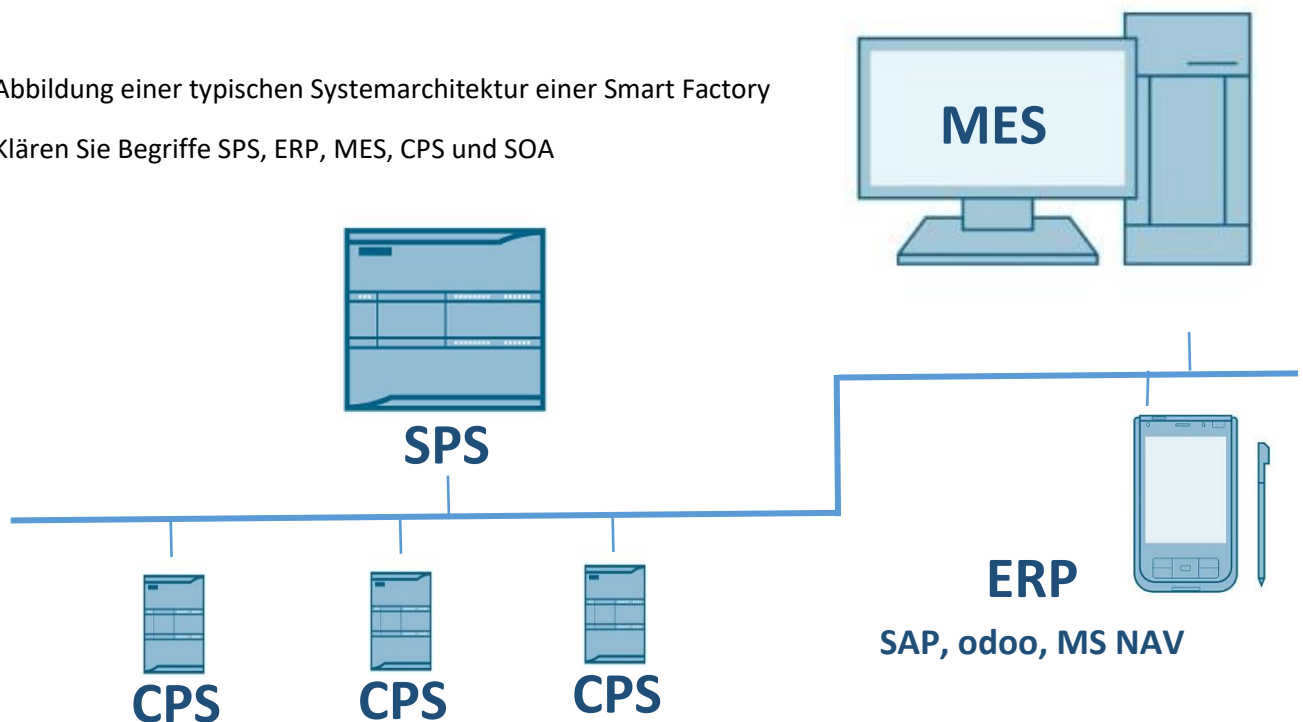
Was bedeutet „smart“? <https://youtu.be/e4XXdwGftZw>

Welchen Mehrwert bringen diese Technologien?

- Produktion mit Losgröße eins.
- Einfache Skalierung der Produktion
- Neue Möglichkeiten für Wartung, ...

Abbildung einer typischen Systemarchitektur einer Smart Factory

Klären Sie Begriffe SPS, ERP, MES, CPS und SOA



## Smart Factory Model

Mit dem Smart Factory Model (Kurz sfm) lassen sich beliebige Maschinen für eine Smart Factory realisieren. Das Model verfügt über ein 3-Achs-Portal zum Transport des Werkstücks, einen RFID Schreib-/Lesekopf zur Identifikation des Produktes, einen Tabletcomputer zur Simulation verschiedener Bearbeitungsstationen und eine SPS zur Steuerung und Anbindung an ein MES.

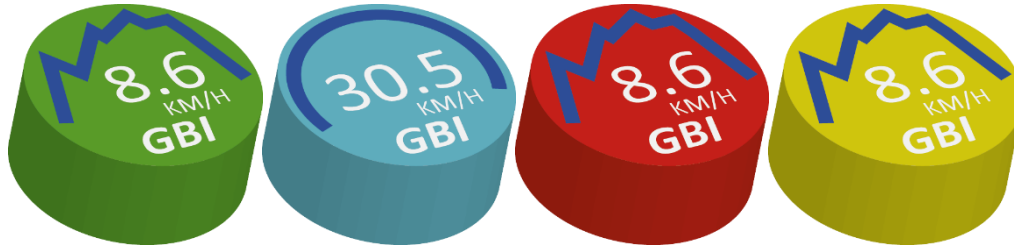


Die Abbildung zeigt einen möglichen Entwurf der Firma Köster Systemtechnik GmbH für das Smart Factory Model.

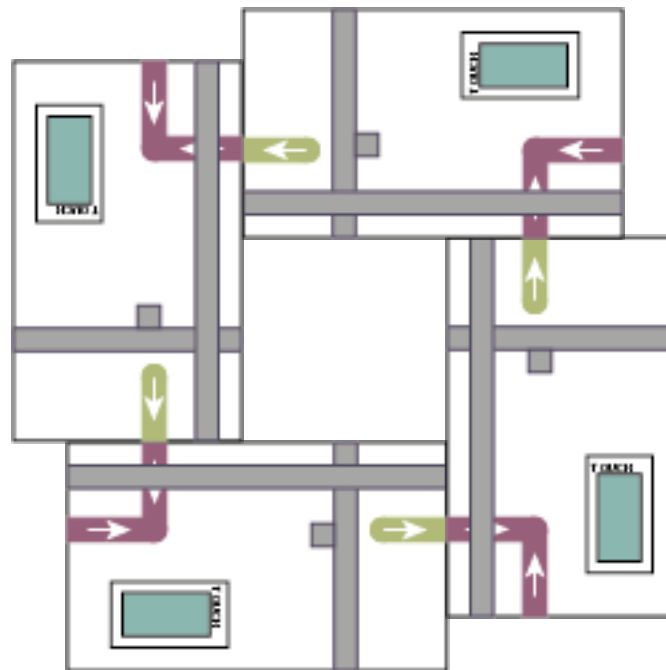
## Mögliche Produktionsszenarien

Fahrradcomputer werden zur Personalisierung bedruckt und getrocknet.

Die Fahrradcomputer kann in unterschiedlichen Varianten (Farben, Druckmotiven) hergestellt werden.



Setup: Vier Module greifen auf einen gemeinsamen MES Server zu. Die Modelle und der Server müssen sich in einem gemeinsamen Netzwerk befinden.



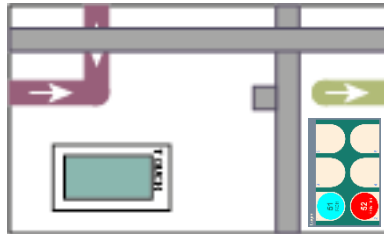
Beschreibung Produktionsprozess:

ClientID	Maschine	Beschreibung
1	Hochregallager	Das Lager stellt sechs Lagerplätze zur Verfügung. Sind keine aktuell keine Ein- oder Auslagervorgänge aktiv, fragt das Lager zyklisch beim MES nach neuen Aufträgen an. Gibt ein eine neue Bestellung, für die ein entsprechendes Rohteil im Lager ist, beginnt die Auslagerung und das Rohteil wird dem Produktionsprozess zur Verfügung gestellt.
2	Wenden	Simuliert eine elektropneumatische Anlage, die das Werkstück wenden kann. Der Wendenvorgang kann notwendig werden, wenn die Rückseite bedruckt werden soll.
3	Drucken	Der Digitaldruck kann beliebige Motive oder Schriftzüge auf das Produkt aufbringen.

4	Trocknen	Im Prozessofen wird das Produkt nach dem Druck getrocknet. Die Trocknungstemperatur und die Verweilzeit im Ofen sind produktabhängig.
1	Hochregallager	Kommt das fertig bedruckte und getrocknete Produkt wieder im Lager an wird es eingelagert und der Produktionsprozess ist abgeschlossen.

Fahrradcomputer werden zur Qualitätssicherung in einer Klimakammer gealtert.

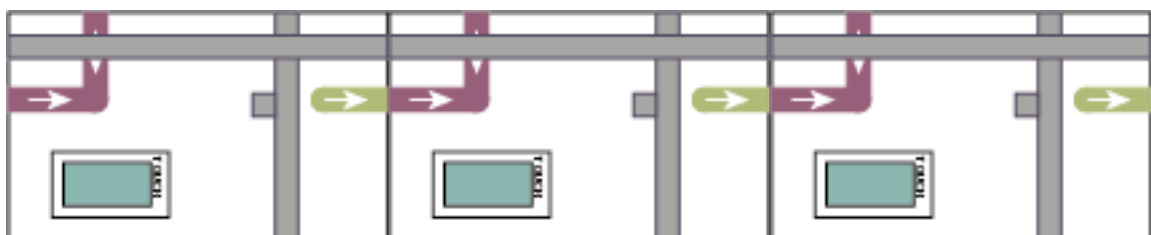
Setup: Das Modul arbeitet autark mit einem eigenen MES System. Keine Vernetzung notwendig, da der MES Server mit auf dem PC (localhost) zum Programmieren des Modells installiert wird. Das Tablet simuliert den Prozessofen (Klimakammer), die Lagerplätze des Hochregallagers werden grafisch auf einem Blatt Papier ausgedruckt und auf das Modell gelegt.



Beschreibung Produktionsprozess:

ClientID	Maschine	Beschreibung
1	Hochregallager	Das Lager stellt sechs Lagerplätze zur Verfügung. Sind keine aktuell keine Ein- oder Auslagervorgänge aktiv, fragt das Lager zyklisch beim MES nach neuen Aufträgen an. Gibt es eine neue Bestellung, für die ein entsprechendes Rohteil im Lager ist, beginnt die Auslagerung und das Rohteil wird nach dem RFID auslesen auf das Tablet (Prozessofen) abgestellt.
4	Trocknen	Im Prozessofen (Klimakammer) wird das Produkt künstlich gealtert. Die Temperatur und die Verweilzeit in der Klimakammer sind produktabhängig.
1	Hochregallager	Ist der Prozess in der Klimakammer abgeschlossen, wird das Produkt wieder im Lager eingelagert und der Produktionsprozess ist abgeschlossen.

Beliebige weitere Produktionsszenarien sind möglich, indem beliebig viele Modelle hintereinander gestellt werden.





### Konferenztische in unterschiedlichen Varianten produzieren

Die Konferenztische (klapp- und stapelbar) können mit drei unterschiedlichen Platten und Tischbeinen in Chrom bzw. schwarz lackiert bestellt werden.



Beschreibung Produktionsprozess:

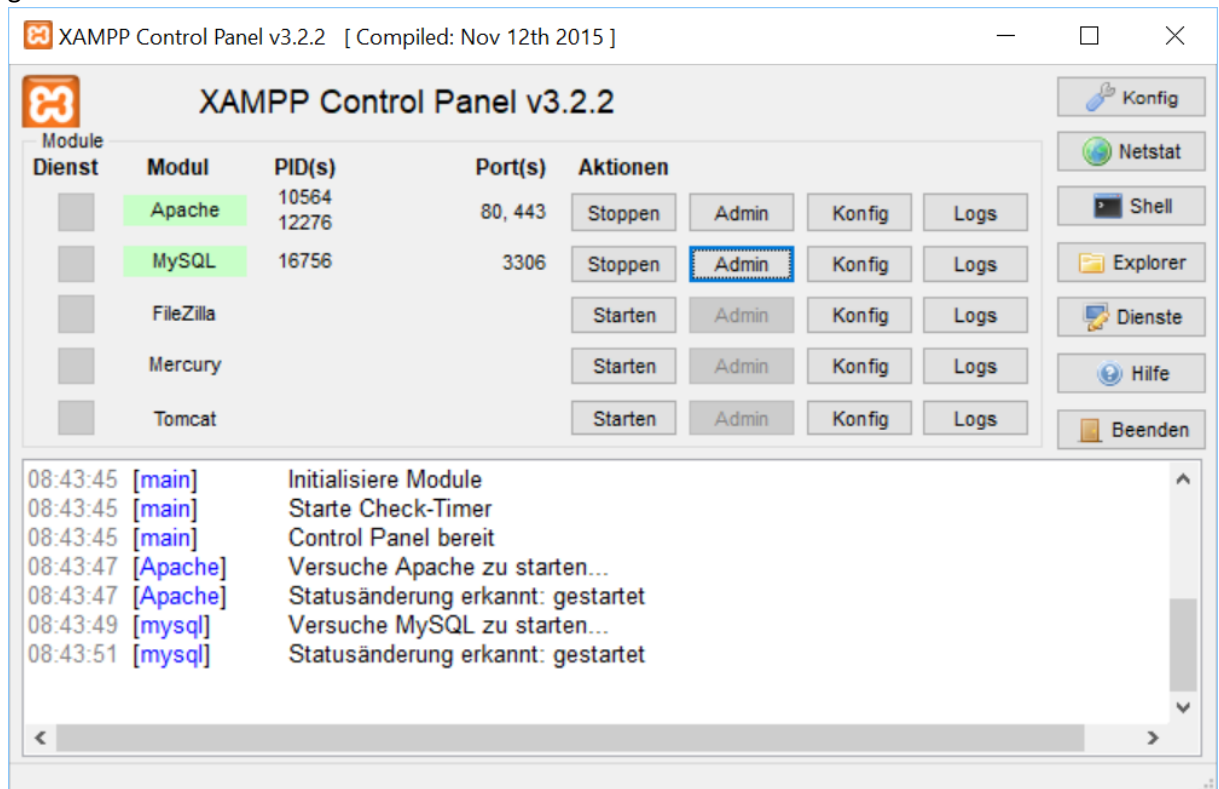
ClientID	Maschine	Beschreibung
1	Hochregallager	Das Lager stellt sechs Lagerplätze zur Verfügung. Sind keine aktuell keine Ein- oder Auslagervorgänge aktiv, fragt das Lager zyklisch beim MES nach neuen Aufträgen an. Gibt es eine neue Bestellung, für die ein entsprechendes Rohteil im Lager (Typ der Tischplatte) ist, beginnt die Auslagerung und das Rohteil wird dem Produktionsprozess zur Verfügung gestellt.
2	Bohren	Simuliert einen elektropneumatischen Bohrautomat, der 3mm tiefe Löcher auf der Unterseite der Tischplatte für das Gestell der Tischbeine anzeichnet. ACHTUNG bei der flachen HPL Platte mit nur 10mm Stärke muss der Bohrer tiefer herunterfahren.
3	Schrauben	Verschraubt das Gestell für die Tischbeine mit der Tischplatte mit Schrauben unterschiedlicher Länge.
4	Pressen	Mit einer elektropneumatischen Handhabungsautomaten werden die unterschiedlichen Tischbeine in Position gebracht und durch Beschläge mit dem Klicksystem über eine Presse montiert.
1	Hochregallager	Kommt der fertig montierte Konferenztisch wieder im Lager an wird es eingelagert und der Produktionsprozess ist abgeschlossen.

## MES

### Installation MES

Das sfmMES besteht aus zwei Komponenten, die auf den Schülerrechner installiert werden müssen:

1. Die mySQL Datenbank lässt sich am einfachsten über XAMPP installieren. Für dieses Open-Source Entwicklungsframework gibt es zahlreiche Download-Möglichkeiten. Im Control Panel müssen für die Nutzung des sfmMES nur die zwei ersten Dienste (Apache und MySQL) gestartet werden.




2. Der sfmMES-Server ist eine Java Applikation und setzt eine Java Runtime (JRE) ab 1.8 voraus. Wird der Ordner "sfmMES" auf den gleichen PC, wie die Datenbank, kopiert, reicht ein Doppelklick auf das ausführbare JAR-File (sfmMES-1.0.n.jar) um die Applikation zu starten.

Diese Standardinstallation sollte für die ersten Schritte so auf jedem Schülerrechner erfolgen. Jede Schülergruppe arbeitet lokal auf Ihrer Datenbank und Fehler wirken sich nicht auf andere Schülergruppen aus. Für den erweiterten Betrieb können auch andere Installationen vorgenommen werden eigener Datenbankserver und eigener zentraler sfmMES Server. Werden die sfm's zu einer Produktionsline zusammengestellt greifen die Maschinen (SPS) auf einen zentralen sfmMES Server zu. Liegt die Datenbank auf einem anderen Host kann die Verbindung in der Properties.txt Datei konfiguriert werden (siehe MES / Datenbank)





## Oberfläche und Bedienung


**sfmMES Manufacturing Execution System**


Lernsituationen

Bearbeiten

MES

### Lager



### Aufträge

geplant

id	Farbe	Produkt	Variante	Kunde
47...		Fahrradcom...	Rückseite bedrucken mi...	Rädlala

### aktive Maschinen

aktiv

1

**Fahrradcomputer (4711, Karin Klinger) bedrucken mit Motiv 1**

Drucker (Layout=1)

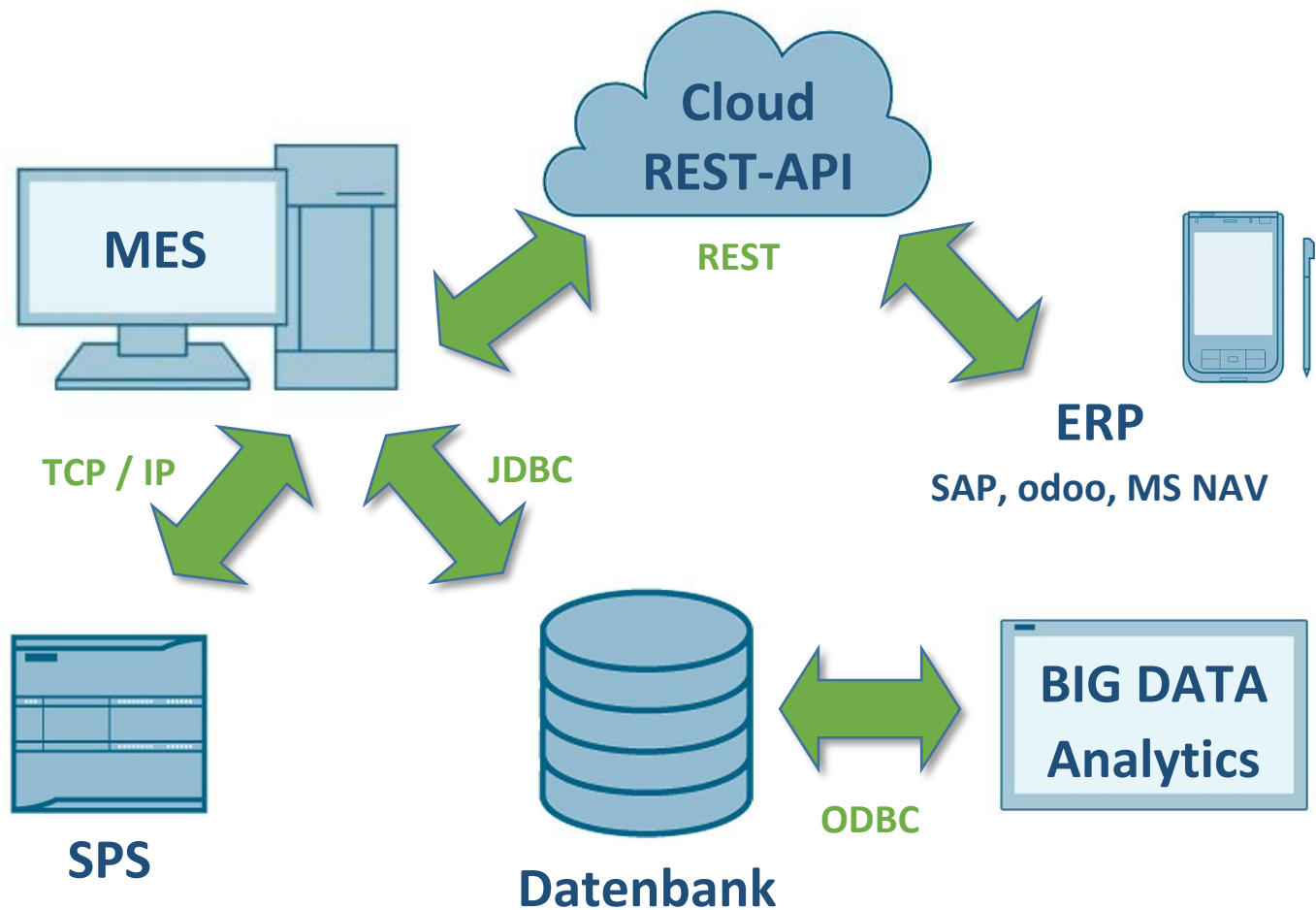
➡ Ofen (Temperatur=35, Trockenzeit=10)

Lager ()

id	name	ip	last req...	last time
1	Lager	meschter.dev	>100, 1, ...	14:53:13
2	Wenden	meschter.dev	>100, 2, ...	14:53:15

id	Farbe	Produkt	Variante	Kunde
47...		Fahrradcom...	bedrucken mit Motiv 1	Bavaria

## Architektur



## Stammdaten

Die Stammdaten für die Anwendung können ausschließlich über SQL Skripte konfiguriert werden. Das hat den entscheidenden Vorteil, dass die Datenbank so mit einem Mausklick auf eine bestimmte Lernsituation vorbereitet werden kann. Die unterschiedlichen Skripte werden in dem Ordner „sql“ abgelegt und müssen die Endung .sql erhalten. Alle hier abgelegten Skripte tauchen in den Menüs „Lernsituationen“ und „Bearbeiten“ auf und können so direkt aus der Oberfläche aufgerufen bzw. editiert werden. Soll ein anderer Editor als der Standard Windows Editor zur Bearbeitung der Skripte genutzt werden, kann dieser in der Properties.txt Dateien konfiguriert werden.

Properties.txt

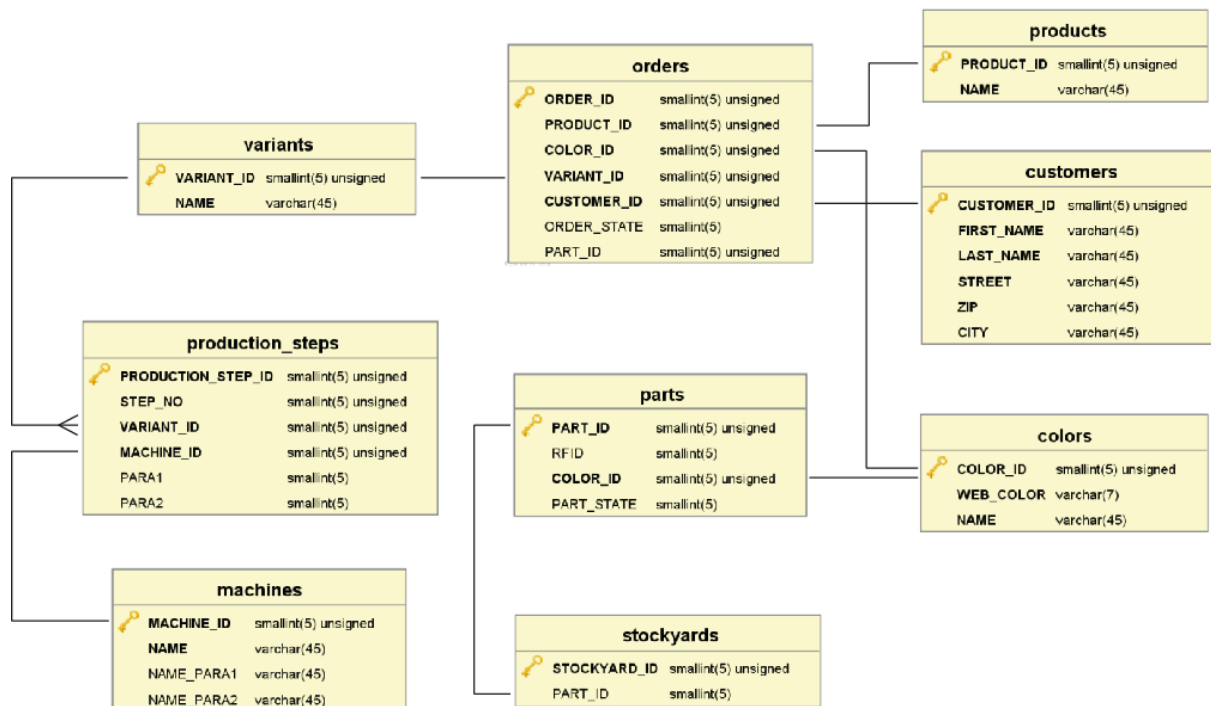
### #MES database configuration

```
editor=C:\\Program\\u0020Files\\Notepad++\\notepad++.exe
```

ACHTUNG der Umgang mit Backslash und Leerzeichen in Dateinamen ist in den Java Properties etwas gewöhnungsbedürftig 😊

In dem sql-Ordner befindet sich ein weiteres Datenbankskript (init.sql.backup). Dieses Skript wird beim ersten Start des sfmMES ausgeführt und legt die mes-Datenbank auf der mySQL an. Wenn Sie die Datenbank auf diesen Grundzustand zurücksetzen möchten, können sie in der mySQL einfach die gesamte mes Instanz löschen.

Das Vorgehen die Stammdaten ohne GUI zu pflegen setzt ein grundlegendes Verständnis des Datenmodells voraus. Einen guten Überblick kann das folgende ER-Diagramm geben. ER-Diagramm und Standard SQL Skript können eine gute Grundlage für eine Lernsituation bilden, in der die Schülerinnen und Schüler sich mit den Grundlagen von relationalen Datenbank beschäftigen.



## Kommunikation

### MES / SPS

#### Protokoll

Zwischen dem Client der Maschine (SPS) und dem Server MES (PC) werden mit Hilfe des TCP/IP auf Port 2018 6 Byte ausgetauscht. Die SPS stellt eine Anfrage (Request) mit drei ganzzahligen Werten (Int) und bekommt dann vom PC eine Antwort (Response) auch in Form von drei Integer-Werten.

Welche Bedeutung die numerischen Werte haben zeigt die folgende Tabelle

#### Request - Daten von Client (SPS) an dem Server (MES)

<b>MethodID</b>	Welche Methode soll beim Server aufgerufen werden. Z.B. getOpForPartID, startProzess, ...
<b>ClientID</b>	Eine Nummer, die die Maschine eindeutig im gesamten Produktionsprozess kennzeichnet. Siehe Tabelle ClientID. Z.B. 1=Hochregallager, 2=Wenden, ...
<b>InParameter</b>	Beliebiger Parameter in Abhängigkeit der benutzten Methode. Z.B. getOpForPartID die RFID Nummer (Part Id) des Werkstücks

#### Response - Daten vom Server (MES) an den Client (SPS)

<b>ReturnCode</b>	In Abhängigkeit von der benutzten Methode. Z.B. liefert die Methode getOpForPartID den ReturnCode = 0 ist an dieser Maschine nicht für den Produktionsprozess zu tun => das Werkstück kann weitergegeben werden.
<b>OutPara1</b>	Erster beliebiger Parameter in Abhängigkeit der benutzten Methode und der Maschine. Wird z.B. die Methode getOpForPartID von einem Ofen aufgerufen, steht hier ggf. die Solltemperatur.
<b>OutPara2</b>	Zweiter beliebiger Parameter in Abhängigkeit der benutzten Methode und der Maschine. Wird z.B. die Methode getOpForPartID von einem Ofen aufgerufen, steht hier ggf. die Verweilzeit.

## MES-Methoden

### startOrder

Wenn das Hochregallager im Leerlauf ist kann diese Methode zyklisch aufgerufen werden, um zu überprüfen ob ein neuer Produktionsauftrag vorliegt. Steht ein Auftrag an, wird die Nummer des Lagerfaches zurückgegeben, in dem das entsprechende Rohteil liegt, das der Produktion zugeführt werden soll.

<b>MethodID</b>	<b>400</b>	
<b>ClientID</b>	<b>1</b>	nur für das Hochregallager
<b>InParameter</b>		ggf. kann hier die RFID von der SPS vorgegeben werden. Ist der Parameter ungleich 0, überschreibt der Parameter den Wert RFID des Rohteils im MES. Dies kann notwendig werden, wenn z.B. der RFID Tag nicht am Werkstück, sondern am Werkstückträger angebracht ist und Werkstück und RFID erst beim Auslagervorgang zusammengebracht werden.
<b>ReturnCode</b>	<b>= 0 (gleich 0)</b> <b>&lt;&gt;0 (Auftragsnr.)</b>	Es gibt keinen neuen Auftrag. Einfach später noch einmal fragen. Ein Rohteil muss ausgelagert und dem Produktionsprozess zugeführt werden.
<b>OutPara1</b>		Nummer des Faches aus dem das Teil entnommen werden kann
<b>OutPara2</b>		RFID Nummer

### getOpForPartID

Gibt der Maschine zurück ob sie den nächsten Produktionsschritt für dieses Werkstück ausführen kann. Wenn die Maschine das Werkstück bearbeiten soll, werden benötigte Informationen zur Produktion übermittelt.

<b>MethodID</b>	<b>100</b>	
<b>ClientID</b>	<b>1..4</b>	siehe Tabelle ClientID
<b>InParameter</b>	<b>&lt;&lt;RFID Part ID&gt;&gt;</b>	
<b>ReturnCode</b>	<b>= 0 (gleich 0)</b> <b>&lt;&gt;0 (Auftragsnr.)</b>	Maschine kann nichts zur Produktion beitragen => Werkstück weitergeben Nächsten Produktionsschritt mit dieser Maschine ausführen
<b>OutPara1</b>	<b>ClientID = 1</b> <b>ClientID = 2</b> <b>ClientID = 3</b> <b>ClientID = 4</b>	Freier Lagerplatz zum einlagern n.r. <sup>1</sup> Nummer der zu verwendenden Druckvorlage Solltemperatur für den Ofen
<b>OutPara2</b>	<b>ClientID = 1</b> <b>ClientID = 2</b> <b>ClientID = 3</b> <b>ClientID = 4</b>	n.r. n.r. n.r. Verweildauer des Werkstücks im Trockenofen

### startProcess

---

<sup>1</sup> nicht relevant

Übernimmt die Maschine die Produktion des Werksstückes, meldet sie diesem Vorgang beim MES an. Das MES visualisiert den Produktionsvorgang und protokolliert diesen in der Produkthistorie.

<b>MethodID</b>	<b>200</b>	
<b>ClientID</b>	<b>1..4</b>	siehe Tabelle ClientID
<b>InParameter</b>		n.r.
<b>ReturnCode</b>		n.r.
<b>OutPara1</b>		n.r.
<b>OutPara2</b>		n.r.

### endProcess

Ist der Produktionsschritt von der Maschine abgeschlossen, meldet sie ihn beim MES ab. Das MES visualisiert den Produktionsvorgang und protokolliert diesen in der Produkthistorie.

<b>MethodID</b>	<b>300</b>	
<b>ClientID</b>	<b>1..4</b>	siehe Tabelle ClientID
<b>InParameter</b>		Dieser Parameter kann ggf. benutzt werden, um Produktionsschritte zu überspringen. Beim Wert 0 wird der nächste Produktionsschritt ausgeführt. Bei einem Wert ungleich 0 wird der entsprechende Produktionsschritt aktive gesetzt. Dies kann notwendig sein, wenn durch Entscheidungen in der Produktion, z.B. einer Qualitätssicherung, andere Produktionsschritte notwendig werden.
<b>ReturnCode</b>		n.r.
<b>OutPara1</b>		n.r.
<b>OutPara2</b>		n.r.

### MES / ERP

Über ein RESTful API, dass der MES Server über den Port 8042 zur Verfügung stellt, kann ein neuer Auftrag angelegt werden:

```
http://<IP des Servers>:8042/mes/neworder/
product/<PRODUCT_ID>/
color/<COLOR_ID>/
variant/<VARIANT_ID>/
customer/<CUSTOMER_ID>
```

z.B.: http://127.0.0.1:8042/mes/neworder/product/1/color/1/variant/1/customer/1

### MES / Datenbank

Die sfmMES Applikation ist in Java realisiert und verwendet den JDBC Standard zur Kommunikation mit der Datenbank. Die benötigten Daten (user, password, url) können über die Datei Properties.txt konfiguriert werden. Die Applikation verwendet zurzeit einen MySQL Treiber, mit dem die Verbindung hergestellt wird. Durch die Verwendung von JDBC, sollte es aber mit wenig Aufwand möglich sein, andere Datenbanken (SqlServer, Postgre, Oracle, DB2, ...) zu unterstützen.



Properties.txt

### #MES database configuration

user=root

password=

url=jdbc\:mysql\://localhost\:3306/

## MES / Data Intelligence

In einer Tabelle für Produktionsdaten werden alle Aktionen für die produzierten Produkte gespeichert. Die Zuordnung der Daten zu einem bestimmten Produkt erfolgt über den RFID\_Code der fest im Produkt verbaut ist. Damit besitzt jedes Produkt ein Gedächtnis, mit dem sich lückenlos die gesamte Produkthistorie dokumentieren lässt.

prod_data	
LOG_TIME	timestamp
LOG_TYPE	smallint(5)
RFID	smallint(5)
MACHINE	smallint(5)
DURATION	bigint unsigned
MESSAGE	varchar(160)

Über den LOG\_TYPE lassen sich die Einträge in drei Gruppen klassifizieren:

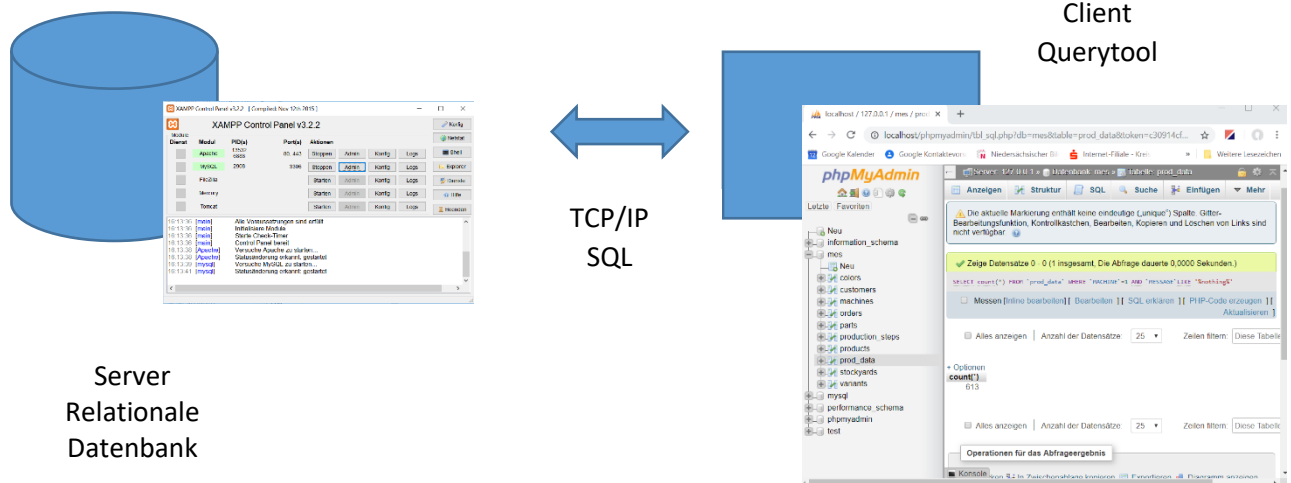
- 1: Alle Anfragen über das SPS API
- 2: Alle einzelnen Produktionsschritte
- 3: Summen, z.B. gesamte Produktionszeit für ein Produkt

z.B. Zeige mir die Produkthistorie von Produkt 52.

```
SELECT * FROM `prod_data` WHERE RFID=52
```

LOG_TIME	LOG_TYPE	RFID	MACHINE	DURATION	MESSAGE
2018-06-20 09:23:38	2	52	1	2010	step complete: Lager ()
2018-06-20 09:23:40	1	52	1	0	getOpForPartID => nothing to do
2018-06-20 09:23:46	1	52	2	0	getOpForPartID => nothing to do
2018-06-20 09:23:52	1	52	3	0	getOpForPartID =>1, 1, 0
2018-06-20 09:23:56	2	52	3	2010	step complete: Drucker (Layout=1)
2018-06-20 09:23:58	1	52	4	0	getOpForPartID =>1, 35, 10
2018-06-20 09:24:02	2	52	4	2006	step complete: Ofen (Temperatur=35, Trockenzeit=10...
2018-06-20 09:24:04	1	52	1	0	getOpForPartID =>4711, 2, 0
2018-06-20 09:24:08	2	52	1	2005	step complete: Lager ()
2018-06-20 09:24:08	3	52	1	32077	production complete varaiant: bedrucken mit Motiv ...

## Lernsituation Data Intelligence



## Arbeitsauftrag:

In einer Smart Factory werden viele Prozessdaten vom MES in einer relationalen Datenbank gespeichert. Auf der Grundlage dieser Datenbasis lassen sich neue Erkenntnisse über den Produktionsprozess gewinnen. Von Experten wird sogar prognostiziert, dass sich auf dieser Grundlage neue Unternehmen mit neuen Geschäftsmodellen gründen lassen.

Sie haben von Ihrer Geschäftsleitung die Aufgabe bekommen die Datenbasis zu analysieren und zu prüfen, ob sich Aussagen zu den folgenden Szenarien machen lassen:

- Maschinenauslastung in der Smart Factory
- Vorbeugende Instandhaltung des Prozessofens
- Problematische Produkte (Varianten)
- haben Sie weitere Ideen für was sich die Datenbasis nutzen lässt?

Informieren Sie sich über:

- Relationale Datenbanksysteme
- SQL (Structured Query Language)
- SELECT, FROM, WHERE
- count()
- GROUP BY, ORDER BY
- Balkendiagramme in EXCEL
- Liniendiagramme in EXCEL
- Kreuztabellen in EXCEL

Mögliche Lösungen:

Nachdem der lassen Sie die SuS im MES die Lernsituaion „Data intelligence“ ausführen. In dieser Stammdatenkonfiguration werden zufällig (die nachfolgenden Ergebnisse können unterschiedlich ausfallen) Produktionsdaten generiert.

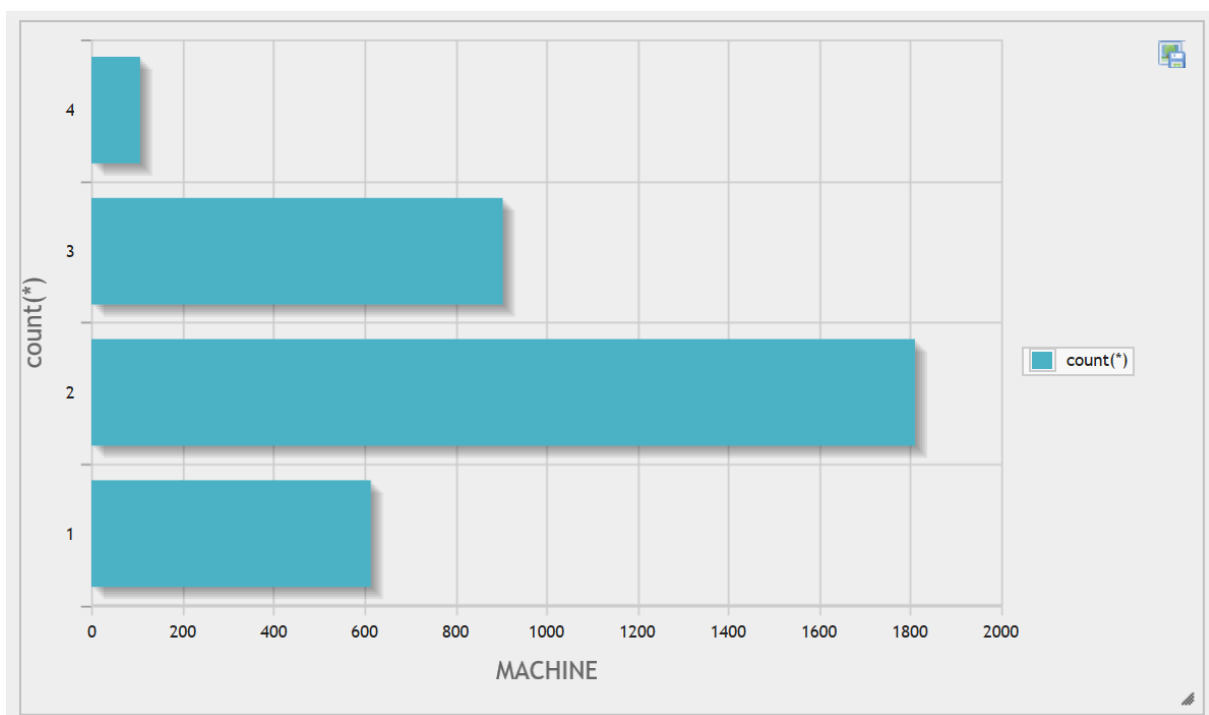
### Maschinenauslastung:

Mit

```
SELECT MACHINE, count(*) FROM `prod_data` WHERE `MESSAGE` LIKE '%nothing%'
GROUP BY MACHINE
```

werden alle Anfragen der SPS nach Maschine gruppiert, die „nothing to do“ zurückgeben. (Ein Zeichen, dass die Maschine sich langweilt und nicht richtig ausgelastet ist.)

Über das phpMyAdmin Tool lassen sich die Ergebnisse auch grafisch Anzeigen:



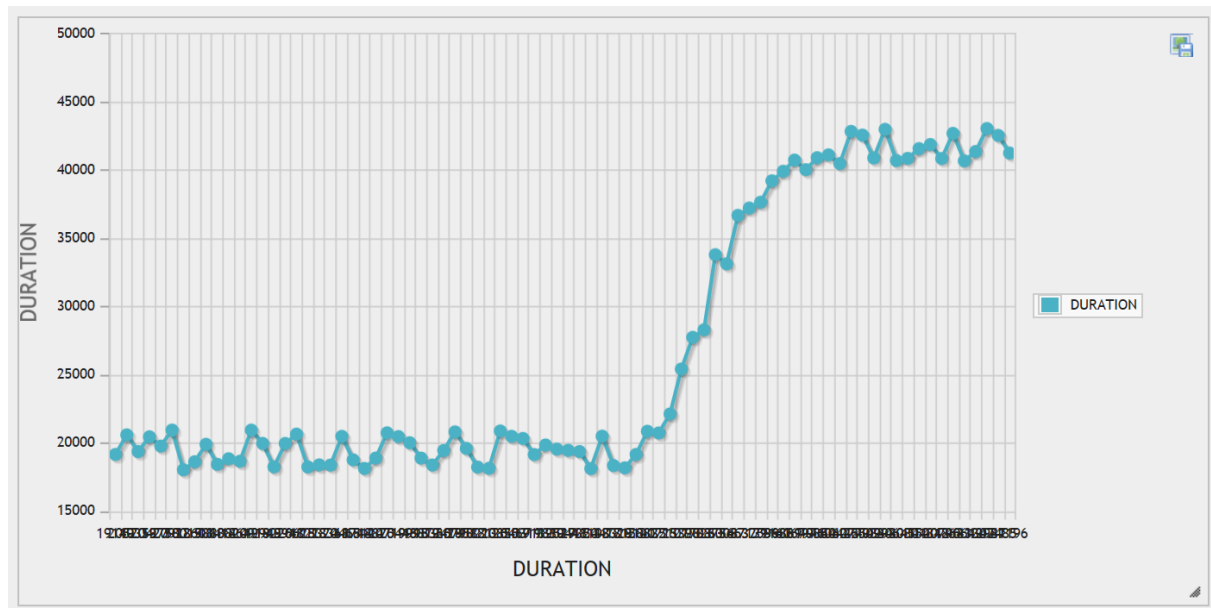
### Vorbeugende Instandhaltung:

Der Prozessofen verrußt nach einer bestimmten Anzahl von Heizvorgängen. Das wirkt sich negativ auf die Leistung der Heizelemente aus, so dass ein Trockenvorgang entsprechend länger dauert.

Mit

```
SELECT DURATION FROM `prod_data` WHERE MACHINE=4 AND LOG_TYPE=2
```

werden die Durchlaufzeiten (LOG\_TYPE=2) des Ofens (MACHINE=4) angezeigt. Die Kurve zeigt, dass es sinnvoll wäre den Ofen nach ca. 40 Produkten vorsorglich zu reinigen.



Automatisches Speichern data\_analys (1).csv - Excel Stefan Sayk

Datei Start Einfügen Zeichnen Seiten Form Daten Über Ansicht Entwurf Additions Hilfe Team Analysieren Entwurf Sie wünschen

PivotTable Aktives Feld Gruppieren Aktualisieren Datenquelle ändern Aktionen Berechnungen Tools Einblenden

Filtern Daten

A3

**PivotTable-Felder**

In den Bericht aufzunehmende Felder auswählen:

Suchen

☐ LOG\_TIME  
☐ LOG\_TYPE  
☐ RFID

Felder zwischen den Bereichen ziehen und ablegen:

Filter Spalten

Zeilen Werte

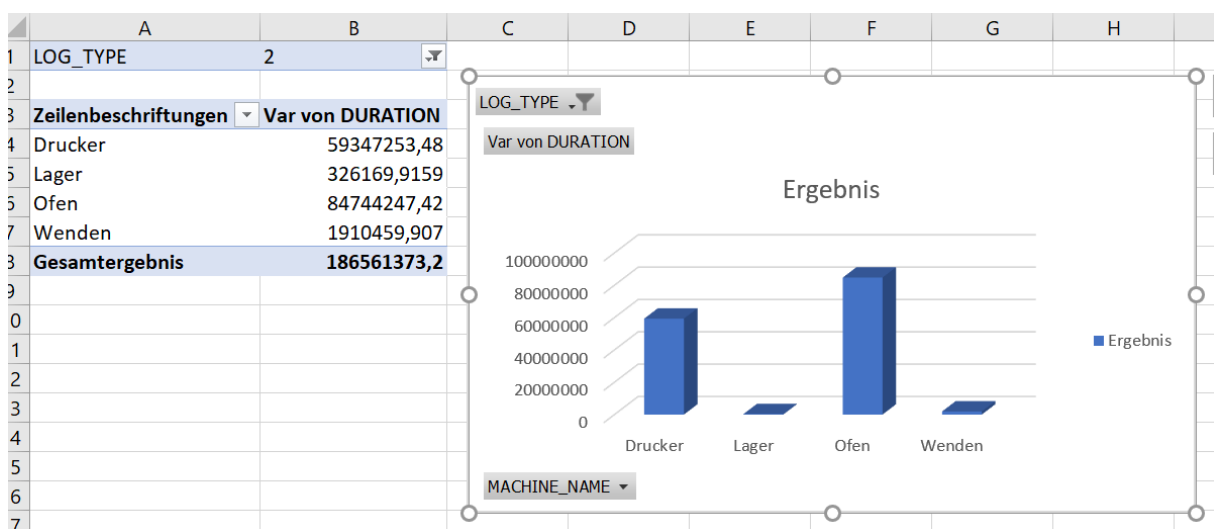
☐ Layoutaktualisierung zurückstellen

**Wählen Sie zum Erstellen eines Berichts die Felder aus der PivotTable-Feldliste aus.**

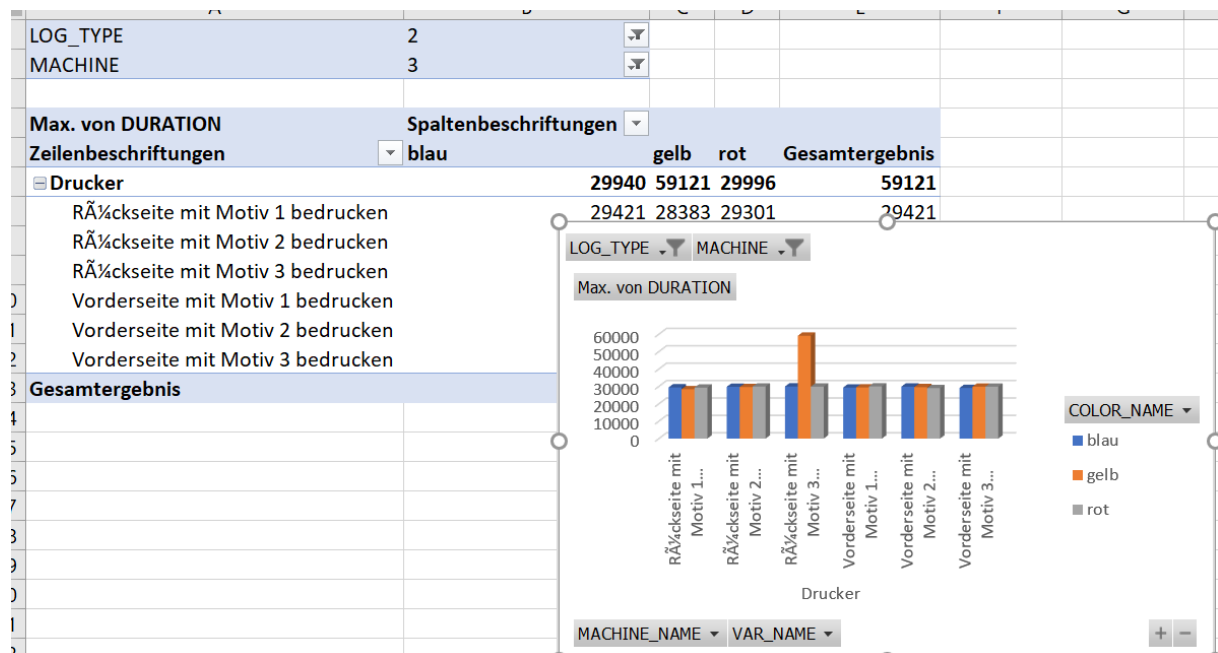
**PivotTable1**

**Tabelle1** data ... 100 %

Die Auflistung der Varianzen der Laufzeit der Maschinen (Filter LOG\_TYPE=2) zeigt Probleme beim Ofen und Drucker. Da die Schüler die erhöhten Varianzen beim Ofen schon deuten können, bleibt der Drucker für genauere Analysen.



Über eine Kreuztabelle mit Varianten und Farben finden die SuS schnell das Problem:



Immer wenn die Rückseite von gelben Produkten bedruckt werden soll gibt es die Probleme.  
 ACHTUNG: Die Produktionsdaten werden zufällig generiert, dass bedeutet die Probleme in der Produktion können wechseln und unterscheiden sich ggf. in den Schüler-Gruppen.