



Technische Hochschule Georg Agricola

# INDUSTRIEAUTOMATION

## MANAGEMENTS EXECUTION SYSTEME (MES)

Bochum

Prof. Dr.-Ing. Lars N. Josler

# ZIEL DER HEUTIGEN VERANSTALTUNG



## Ziel

- Allgemeines Verständnis zu MES

## Ergebnis

- Abgrenzung von MES und ERP verstehen sowie die Funktionsbausteine von MES verinnerlichen

## Inhalt

- Wie in der Agenda beschrieben

## Gründe

- Eine Feinplanung von Produktionsprozessen ist dringen notwendig für Unternehmen und bedarf einer weiteren Software neben dem ERP. Die Funktionen zu kennen ist notwendig zur Arbeit in Produktionsplanungsabteilungen.

## Erwartungen

- Studierende: Neue Themen kennenlernen für das Berufsleben und zum Bestehen der Klausur
- Dozent: Aufmerksamkeit und keine Störung durch Geräuschkulisse

# AGENDA



## Managements Execution Systeme

- **SCM/ERP/MES**
- **Anforderungen**
- **Reihenfolgeplanung**
- **Datenmanagement**
- **Kennzahlen**
- **Beispiel**

# DARSTELLUNG NACH VDI 5600



Ebenen

Systeme

Unternehmens-  
leitebene

ERP

Produktionsgrobplanung, Bestellabwicklung, Auftragsvorgaben, NC-Programme, Dokumente, Verdichtete Ist-Daten, Mengen und Zeiten, Prüfergebnisse, etc.

Fertigungs-  
leitebene

MES

Produktionsfeinplanung, Produktionsdatenerfassung, KPI-Ermittlung, Materialmanagement, Qualitätsmanagement, Ergänzung der Stammdaten durch Feindaten, Online-Information, Auswertung der erfassten Daten

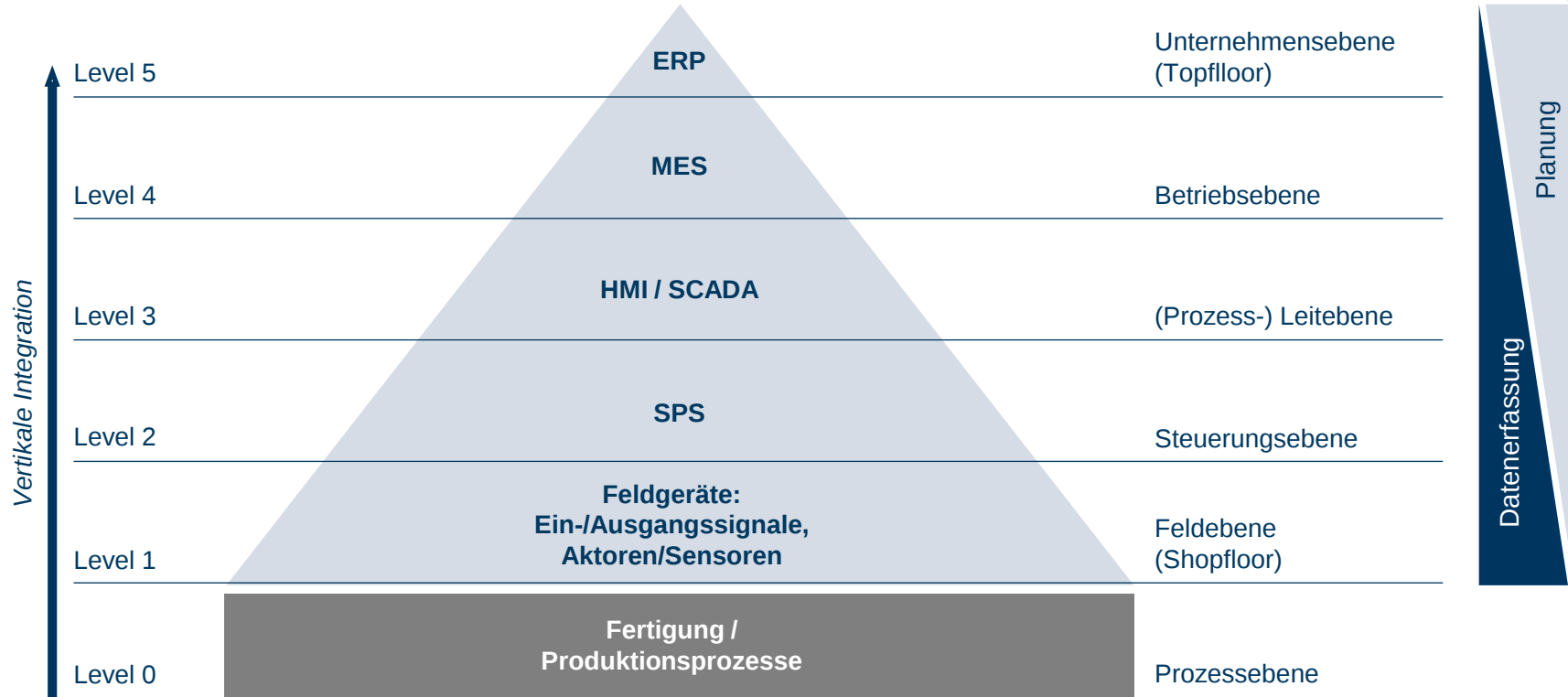
Fertigungs-  
ebene



Arbeitsplätze/  
Maschinen/  
Anlagen

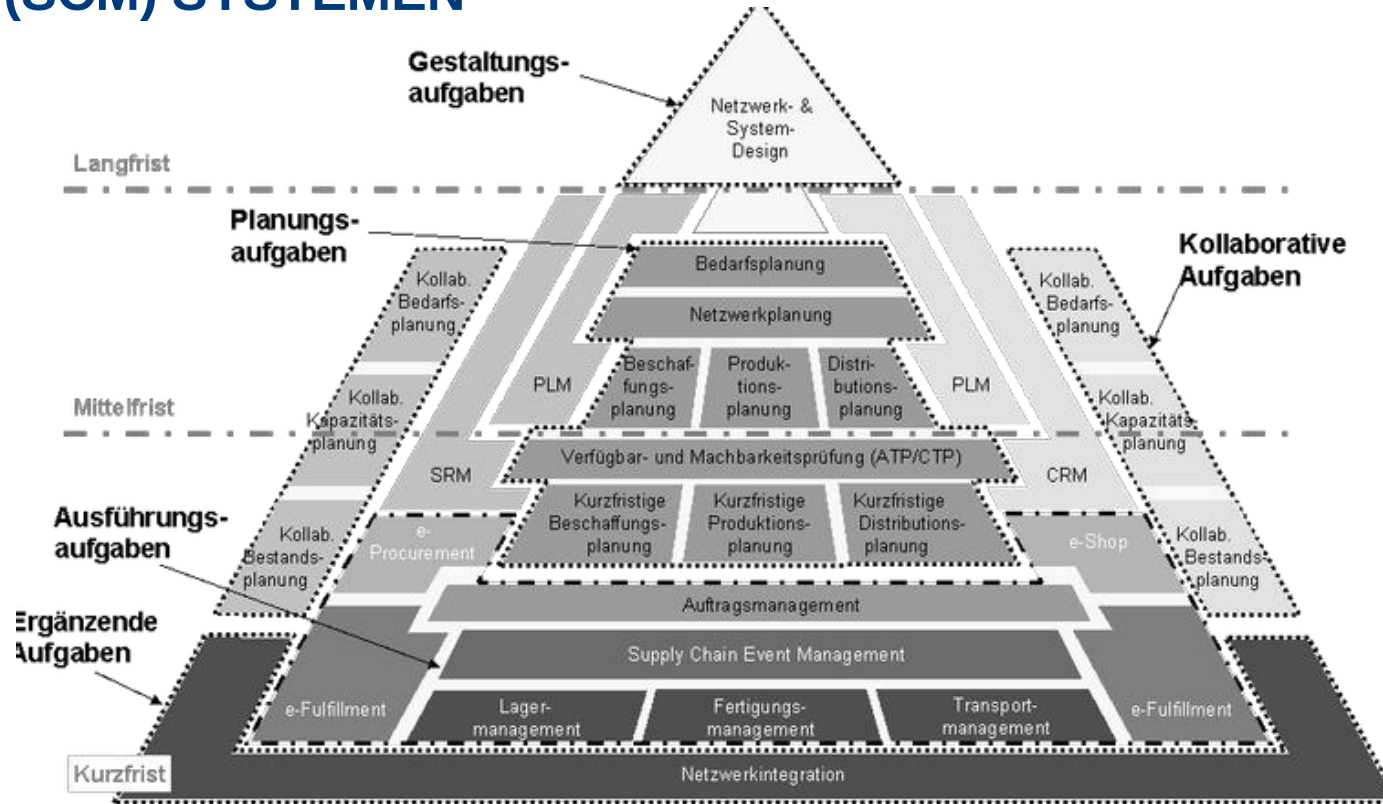
Erfassung / Übernahme von Daten zu Aufträgen, Maschinen, Material, Prozessen, Prüfmerkmalen, Werkzeugen, Chargen, etc.

# KLASSISCHE AUTOMATISIERUNGSPYRAMIDE NACH SIEPMANN



In Anlehnung an Siepmann (2016): Industrie 4.0 - Technologische Komponenten, in: Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0, Roth, A. (Hrsg.), Berlin Heidelberg, Springer Gabler Verlag, S. 49

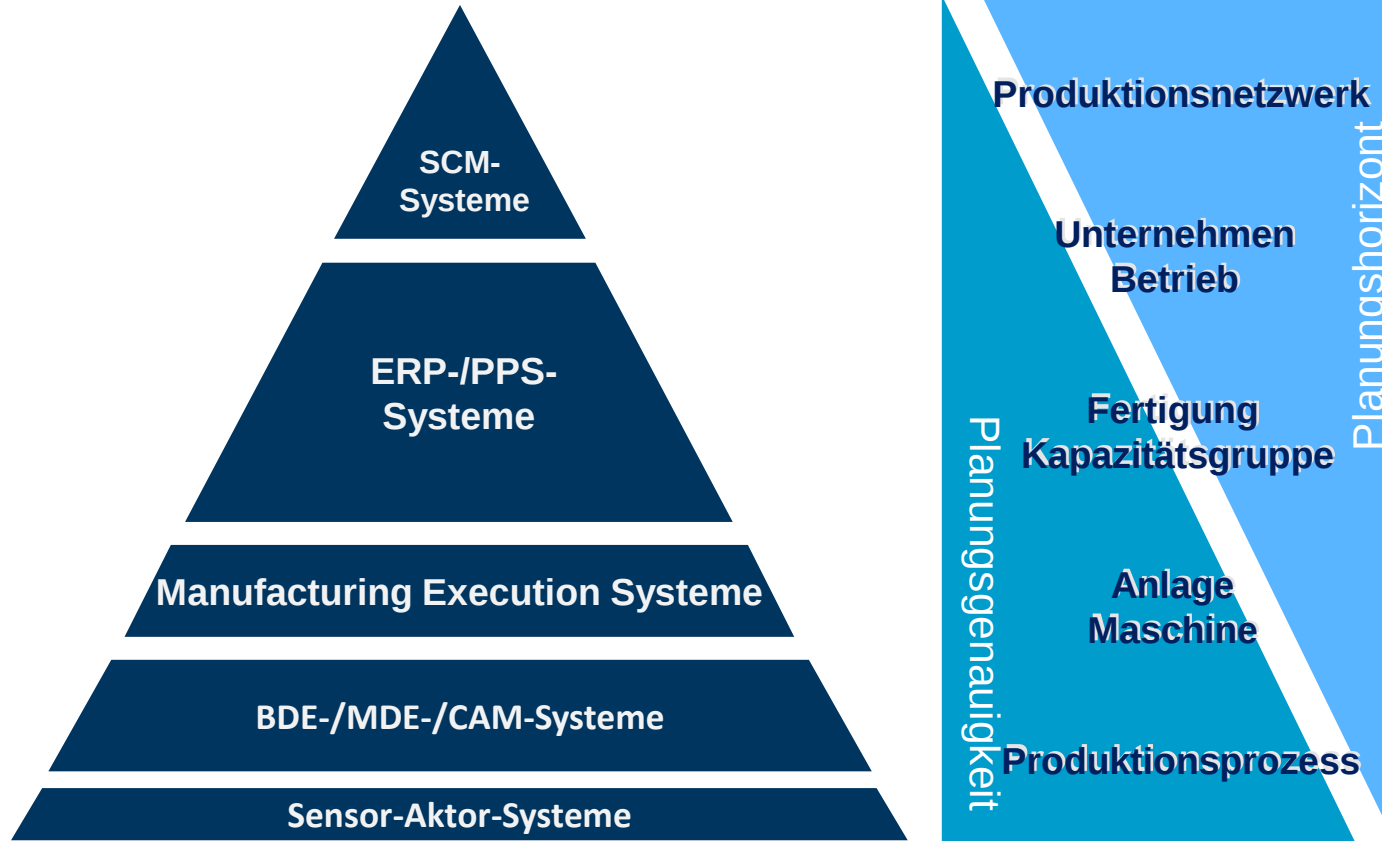
# AUFGABENBEREICHE VON SUPPLY CHAIN MANAGEMENT (SCM) SYSTEMEN



<https://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/informationssysteme/crm-scm-und-electronic-business/Supply-Chain-Management/Supply-Chain-Management-System>

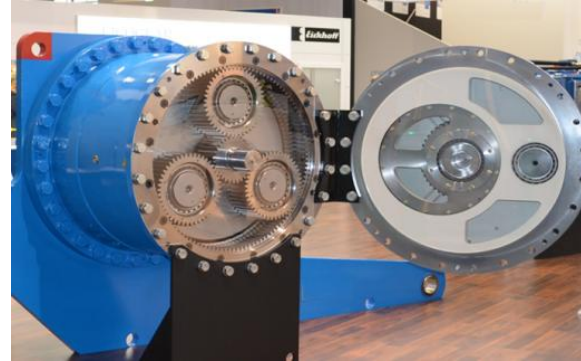
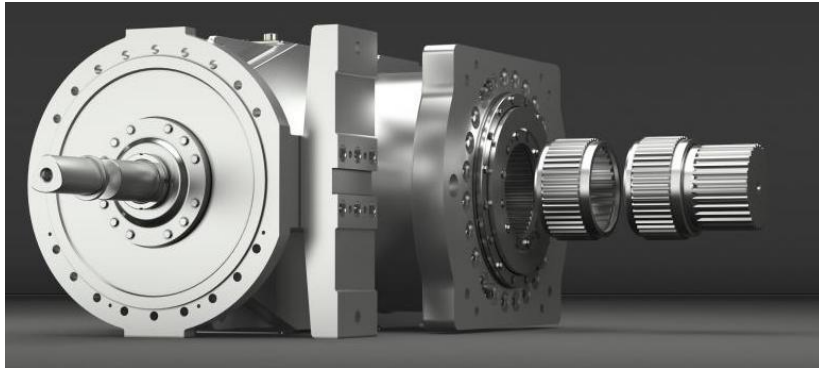
Primärquelle: Hellingrath, Bernd, Kuhn, Axel : Supply Chain Management.Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette. 2002. Springer

# PLANUNGS- UND STEUERUNGSEBENEN





- Sie sind Fertigungsleiter eines Unternehmens und bekommen den Auftrag einen gegossenen Getriebeblock inklusive der Komponenten zu fertigen. Wie würden Sie vorgehen, um den Auftrag zu bestätigen oder abzulehnen? (5 Min)

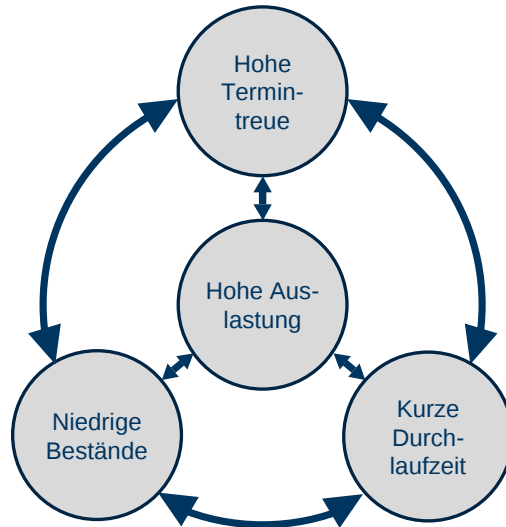


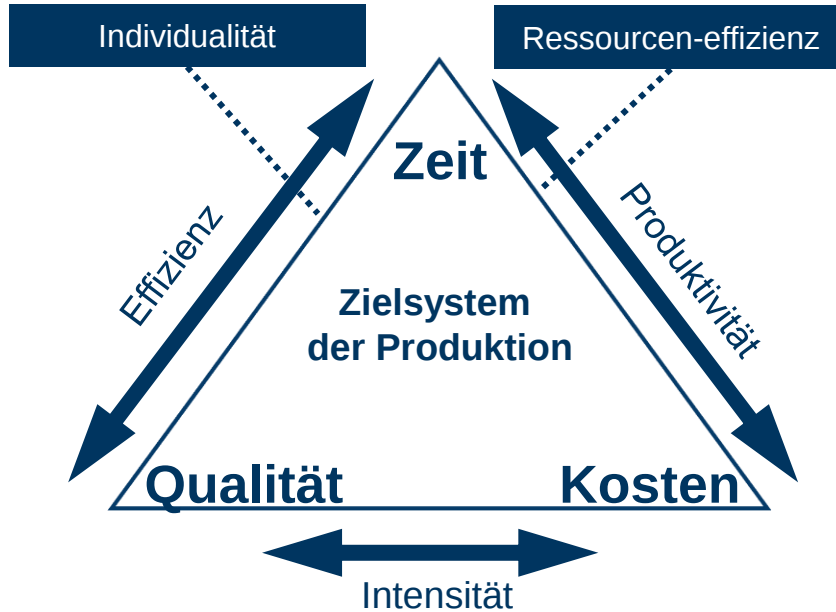
[https://treckergarage.de/contents/media/l\\_402-0100080\\_4.jpg](https://treckergarage.de/contents/media/l_402-0100080_4.jpg)  
[https://www.eickhoff-bochum.de/sites/default/files/styles/slideshow/public/field/slideshow/image/messetermine\\_1.png?itok=Zww1IXDf](https://www.eickhoff-bochum.de/sites/default/files/styles/slideshow/public/field/slideshow/image/messetermine_1.png?itok=Zww1IXDf)  
[https://www.eickhoff-bochum.de/sites/default/files/styles/slideshow/public/field/slideshow/image/160809\\_ekp\\_65.jpg?itok=TB2KyeMM](https://www.eickhoff-bochum.de/sites/default/files/styles/slideshow/public/field/slideshow/image/160809_ekp_65.jpg?itok=TB2KyeMM)

# AUFGABE DER PPS



# ZIELSYSTEM – ZIELKONFLIKTE





- Qualitäts-, Zeit- und Kostendruck
- Stark individualisierte Fertigung (Trend zur Losgröße 1)
- Ressourcenbedarf als weitere Stellgröße
- Transparenz (Green Products, etc.)
- Wandlung der klassischen Fabrik von einer Produktionsstätte zu einem modernen Dienstleistungszentrum.
- Wirtschaftlichkeit der modernen Wertschöpfung ist keine Eigenschaft der Produkte, sondern der Prozesse.
- Der Wettbewerb verschiebt sich zunehmend vom Wettbewerb der Produkte zum Wettbewerb der Prozesse.
- Die entscheidenden Potenziale der Unternehmen liegen weniger in ihrer Produktionsfähigkeit, als in ihrer Prozessfähigkeit.



## Ziele für das Fertigungsmanagement

- Steigerung von Transparenz
- Reaktionsfähigkeit und
- Wirtschaftlichkeit

## Anforderungen an die Planung und Steuerung

- kurze Reaktionszeiten
- Feinplanungsregelkreis mit kurzen Regelzyklen
- Beherrschung der Störungen im Produktionsprozess

## Transparenz

- Transparenz bedeutet heute nicht
  - historisch lückenlos nachvollziehen zu können und daraus Handlungsempfehlungen für die Zukunft abzuleiten
- Transparenz bedeutet heute
  - zeitnah Realitäten zu visualisieren
  - sofortige Maßnahmen ableiten

# SCHWACHSTELLEN DER TRADITIONELLEN ERP/PPS-SYSTEME

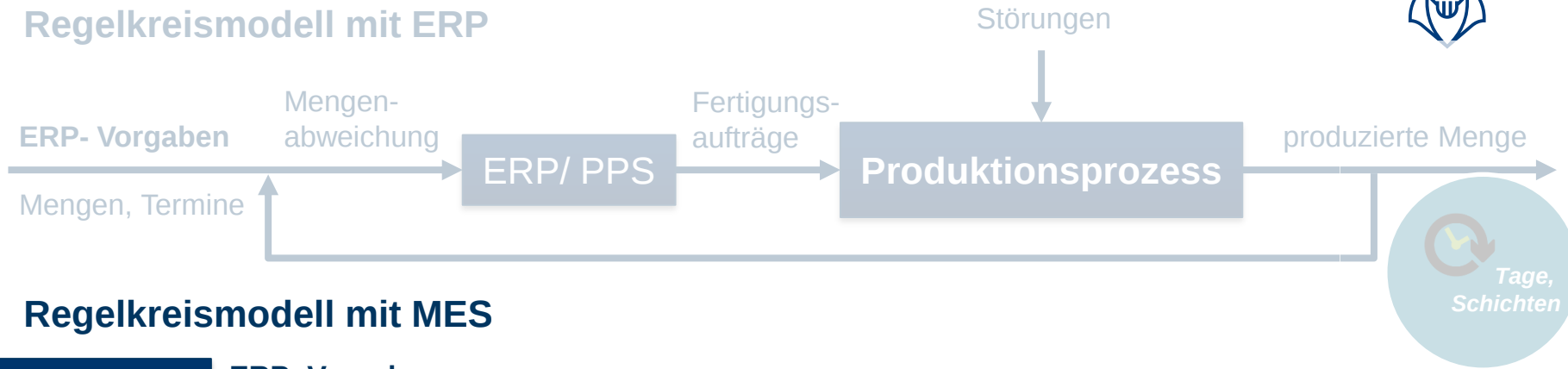


- Fehlende Prozessnähe:  
aktuelle Situation in der Fertigung ist nicht bekannt,  
keine zeitnahen Rückmeldungen, Störungen, ...
- Planung gegen vermeintlich unbegrenzt verfügbare Kapazität der Produktionsressourcen  
Keine Berücksichtigung der tatsächlichen Ressourcenverfügbarkeit (Betriebsmittel, Personal, Fertigungshilfsmittel, ...)
- Unflexibel bei Eilaufträgen und Bedarfs- bzw. Terminänderungen
- Keine Steuerung unterschiedlicher Bereiche durch individuelle Planungsalgorithmen
- Erfahrungen der Mitarbeiter im Werkstattbereich bleiben weitgehend unberücksichtigt
- Keine Antwort auf die Frage:  
Welche Arbeitsgänge sind auf welcher Maschine in welchem (Kurz-) Zeitfenster in welcher optimalen, also kostenoptimalen Reihenfolge zu fertigen?
- je zeitnaher die Informationen sein müssen, umso weniger stellt das ERP/PPS System ein echtes Hilfsmittel zur Steuerung der Fertigung dar.

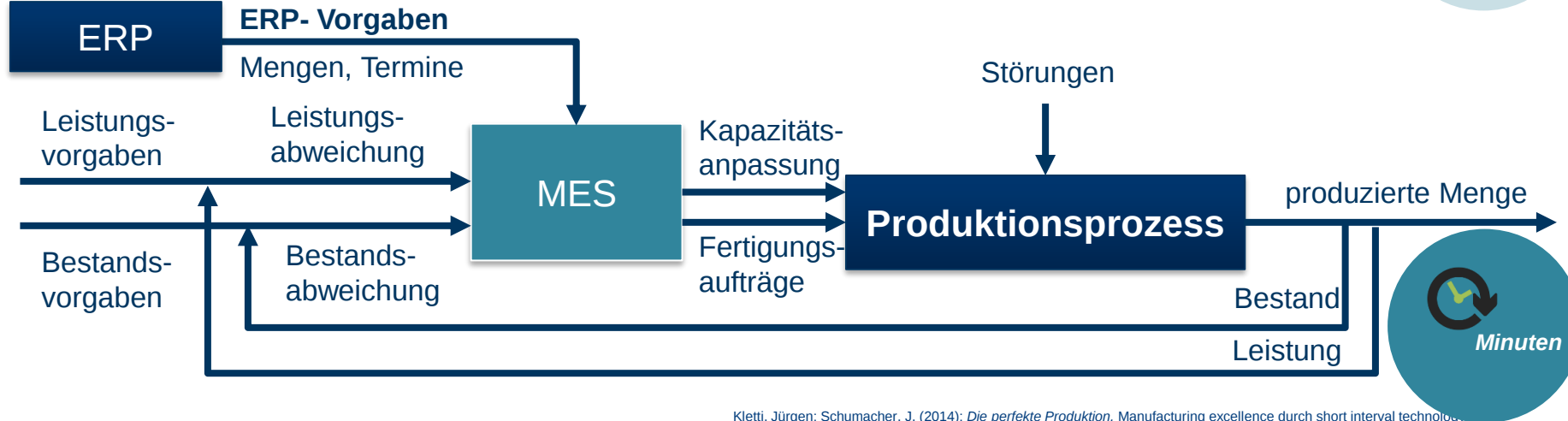
# REGELKREISMODELLE MIT ERP / MES



## Regelkreismodell mit ERP

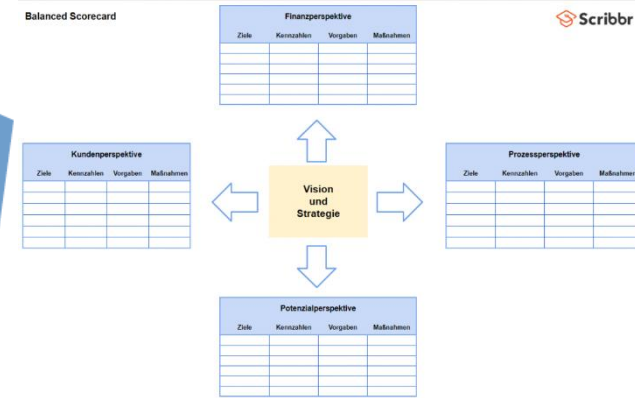
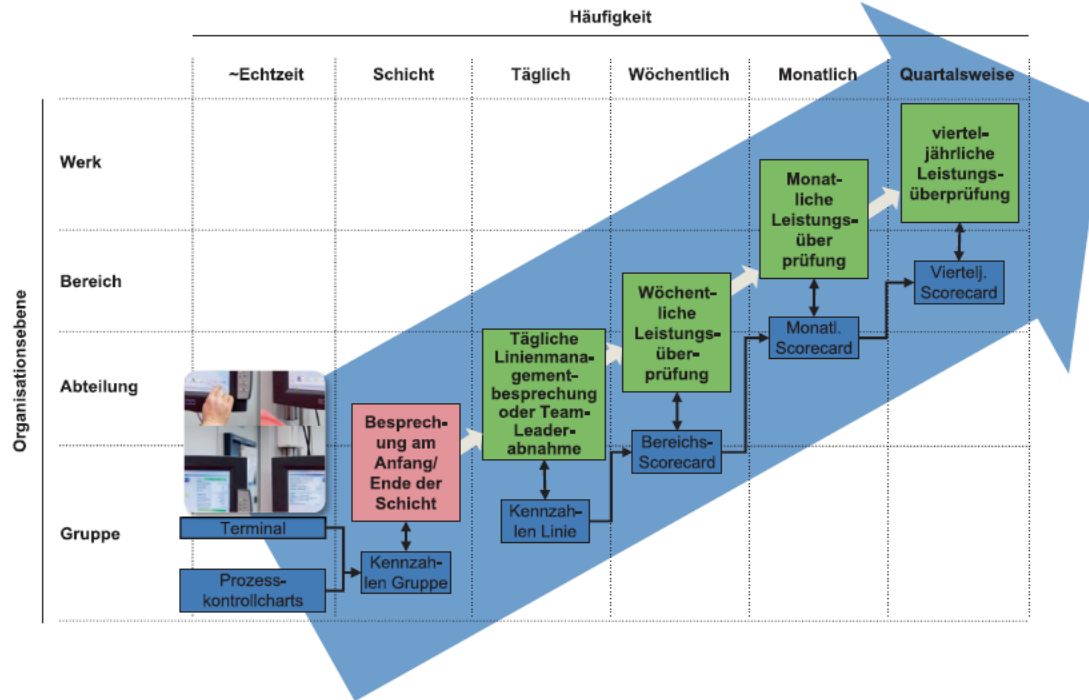


## Regelkreismodell mit MES



Kletti, Jürgen; Schumacher, J. (2014): *Die perfekte Produktion*. Manufacturing excellence durch short interval technology.

# REGELKREISE AUF ALLEN UNTERNEHMENSEBENEN



Kletti, Jürgen; Schumacher, J. (2014): *Die perfekte Produktion*. Manufacturing excellence durch short interval technology (SIT)

<https://www.scribbr.de/modelle-konzepte/balanced-scorecard/>

[https://simplefactory.de/image/cache/catalog/Bilder\\_News/Shopfloor\\_Tafel-780x438.JPG](https://simplefactory.de/image/cache/catalog/Bilder_News/Shopfloor_Tafel-780x438.JPG)

# ABGRENZUNG: MES VS. ERP



## ERP

- Plant am Beginn einer Auftragslast nach durchschnittlicher Kapazität
- Situations- und technologieabhängige Entscheidungen sind relativ gering ausgeprägt
- Anlegen und Verwaltung von:
  - Tages-/ Jahresschichtplänen
  - Gruppen- und Einzelarbeitsplätzen
  - Einkaufsartikeln
  - Ressourcenlisten
  - Grober Kapazitätsabgleich

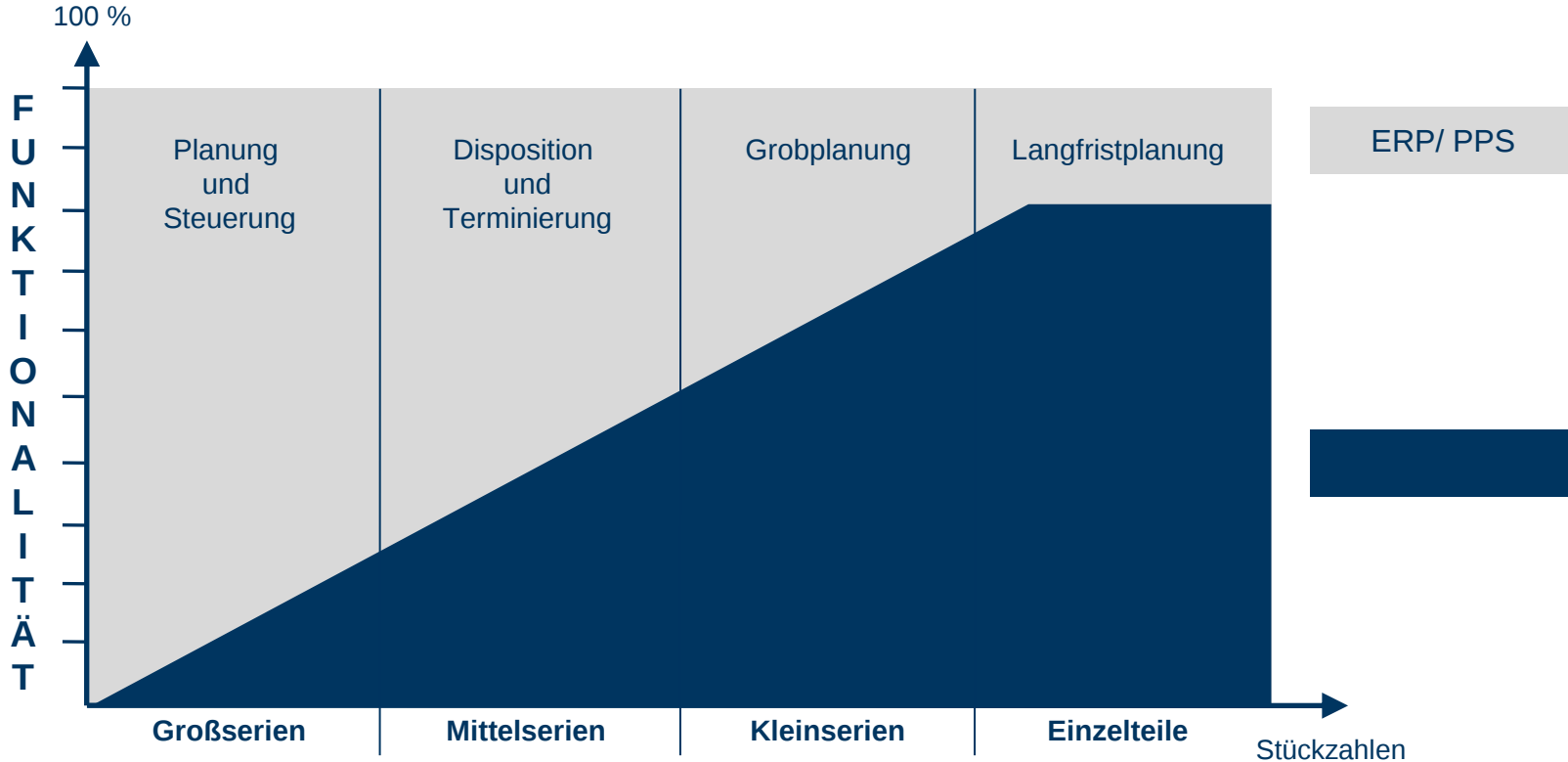
→ **Langfristig orientiert**

## MES

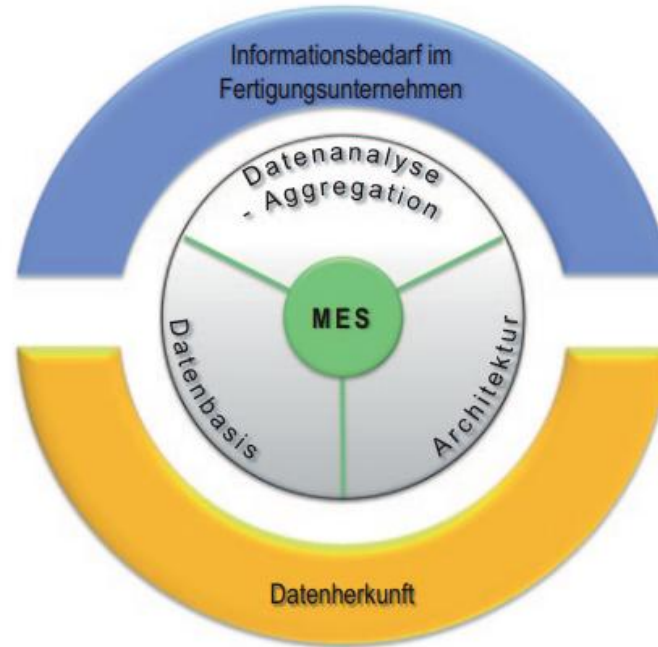
- Tool zur kurzfristigen Steuerung und nicht zur Planung von Aufgaben
- Teilweise Verschiebung der Verantwortung von der ERP- zur MES-Ebene

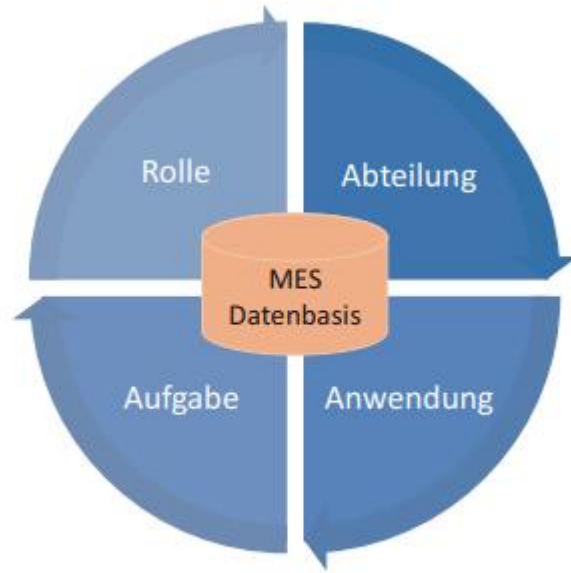
→ **Kurzfristig orientiert**

# AUFGABENTEILUNG ZWISCHEN ERP/ PPS UND MES



# MES ALS DATENDREHSCHIEBE





- **Anwendungen:** Aufteilung der Softwareanwendungen in die klassischen Bereiche wie
  - BDE, Maschinendaten, Prozessdaten, DNC ...
- **Aufgaben:** Wie in der VDI 5600 beschrieben, gibt es in jedem Unternehmen eine Vielzahl an definierten Aufgaben, wie Arbeitsvorbereitung, Feinplanung und -Steuerung,
  - Materialplanung etc. Abhängig von der Organisation des jeweiligen Unternehmens können diese theoretisch von beliebigen Mitarbeitern in unterschiedlichen Abteilungen wahrgenommen werden.
- **Abteilungen:** Dies sind die Organisationseinheiten, denen die Mitarbeiter eines Unternehmens disziplinarisch zugeordnet sind.
- **Rollen:** Das sind die Tätigkeitsbereiche einzelner Mitarbeiter in einem Fertigungsunternehmen. Auch hier hat die Organisation des jeweiligen Unternehmens einen maßgeblichen Einfluss, wenn es darum geht, einer Rolle die Aufgaben und die Verantwortlichkeiten zuzuweisen.

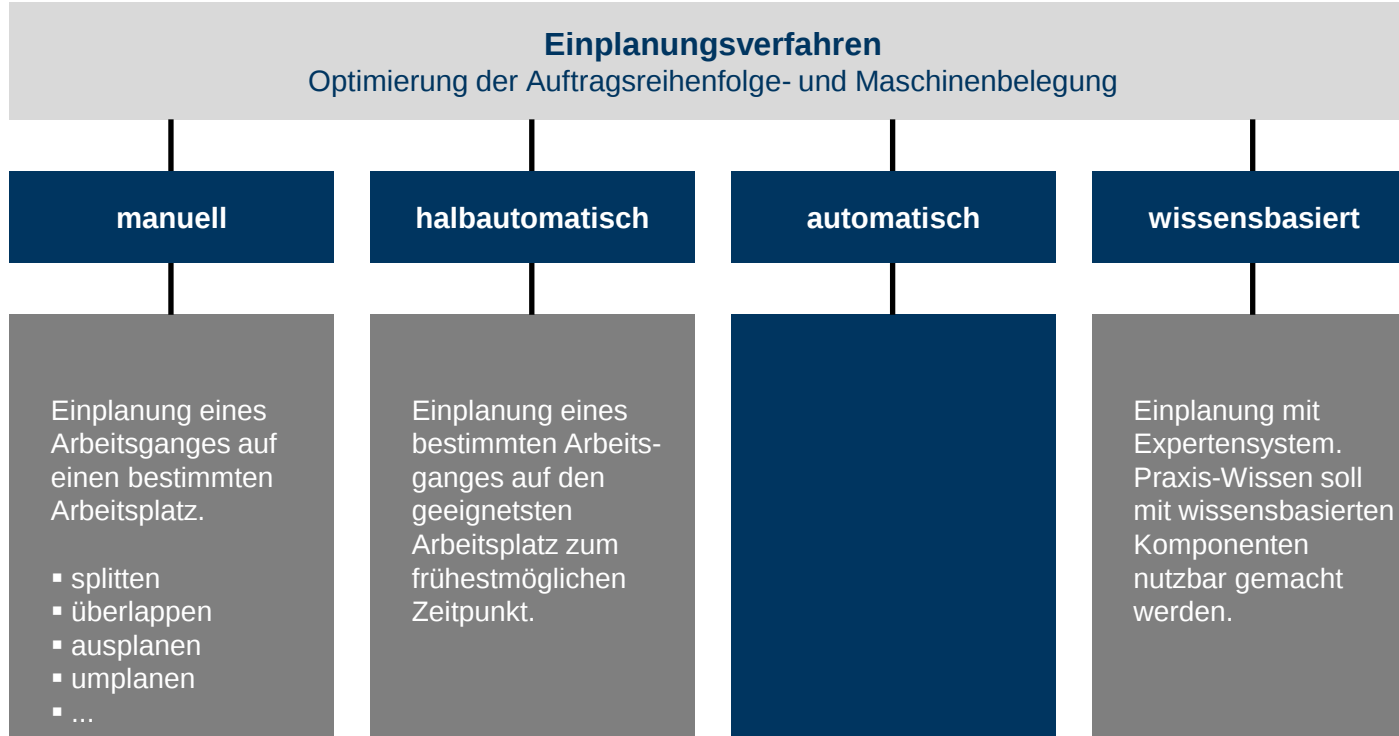
# MES STANDARDS – AUFGABEN NACH VDI 5600



|                   | Unternehmensleitebene                                                                                                                                          | Fertigungsleitebene                                                                                                                                                                                                                               | Fertigungsebene                                                                            |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
|                   | ERP                                                                                                                                                            | MES                                                                                                                                                                                                                                               | Arbeitsplätze/<br>Maschinen/ Anlagen                                                       |
| <b>Aufträge</b>   | Bestimmt die Art und den Umfang der Aufträge, die in einem bestimmten Zeitraum zu produzieren sind sowie deren spätere Abrechnung                              | <b>Bestimmt Bearbeitungszeitpunkte, die Zuordnung zu Ressourcen und die Reihenfolge</b> für die Auftragsabwicklung im Produktionsprozess auf der Ebene der Arbeitsgänge oder der darunter liegenden Teilschritte und sorgt für deren Durchführung | <b>Setzt die Arbeitsgänge</b> gemäß der Vorgaben auf weiter detailliertem Niveau <b>um</b> |
| <b>Ressourcen</b> | Verwaltet die Ressourcen im Wesentlichen <b>nach kaufmännischen Gesichtspunkten</b> und führt eine <b>grobe, durchschnittliche Kapazitätsbetrachtung</b> durch | Verwaltet die <b>Ressourcen nach aktuellen, tatsächlichen Verfügbarkeiten und Zuständen</b> und ordnet diese zeitnah für die Auftragsabwicklung zu                                                                                                | Bedient sich der vorgegebenen Ressourcen, um die Arbeitsgänge durchzuführen                |
| <b>Material</b>   | <b>Bestimmt den Materialbedarf und löst Bestellvorgänge</b> (oder Auftragserzeugung) aus; führt Bestände in den Lagern                                         | Bestimmt die <b>konkrete Materialverwendung</b> , organisiert die logistische Kette zur Materialbereitstellung und verwaltet die Umlaufbestände                                                                                                   | Verarbeitet das Material in den vorgegebenen Arbeitsgängen zu Zwischen- oder Endprodukten  |

VDI 5600

# EINPLANUNGSVERFAHREN



# KOMPLEXITÄT IN DER ABLAUFPLANUNG



- Komplexität bei n Aufträgen und m Maschinen:
- Anzahl der Auftragsreihenfolgen vor einer Maschine:  $n!$
- Beispiel: 3 Aufträge (A, B, C) → 6 Reihenfolgen



1: A,B,C



2: A,C,B



3: B,A,C



4: B,C,A



5: C,A,B



6: C,B,A

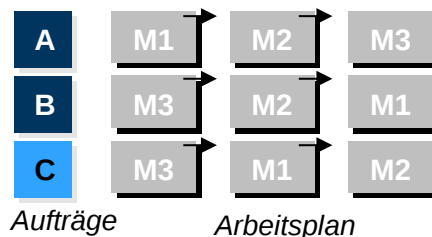
- Werden diese parallel auf 2 Maschinen gefertigt ergibt sich daraus
  - $2 \times 2 \times 2 = 8$  Möglichkeiten
- Werden diese nacheinander auf 2 Maschinen gefertigt ergibt sich daraus
  - $3! \times 2! = 6 \times 2 = 12$  Möglichkeiten
- $1! = 1$ ;  $5! = 120$ ;  $10! = 3.628.800$ ;  $14! = 87.178.291.200$

Stirling-Formel

$$n! \sim \sqrt{2\pi n} \left(\frac{n}{e}\right)^n$$

Eulersche Zahl  $e=2,718...$

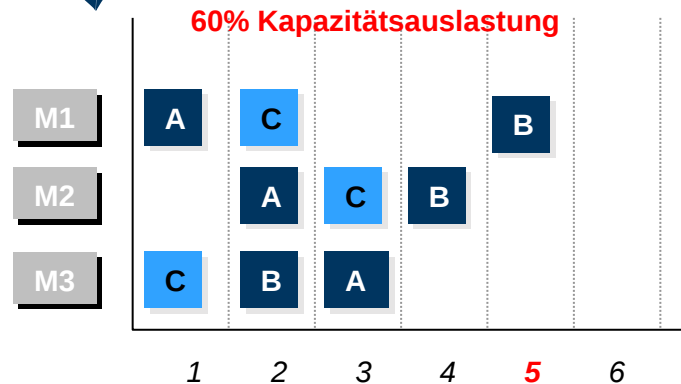
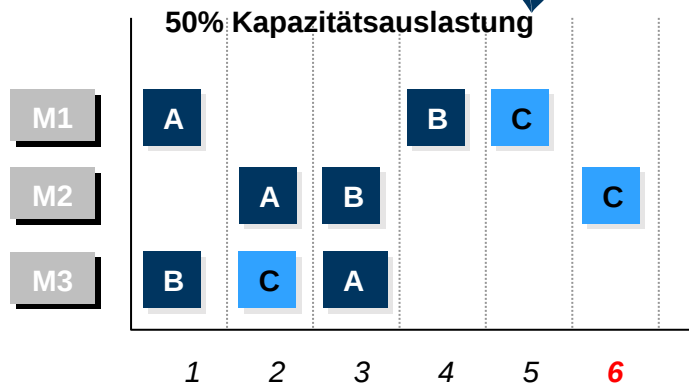
# ABLAUFPLANUNG BEI WERKSTATTFERTIGUNG



**Beispiel:** 3 Aufträge (A, B, C) auf 3 Maschinen (M1, M2, M3) mit unterschiedlicher Maschinenfolge

1. Alternative: A1, A2, A3

2. Alternative: A1, A3, A2



# REIHENFOLGE DER AUFTRAGSEINGÄNGE BEISPIEL

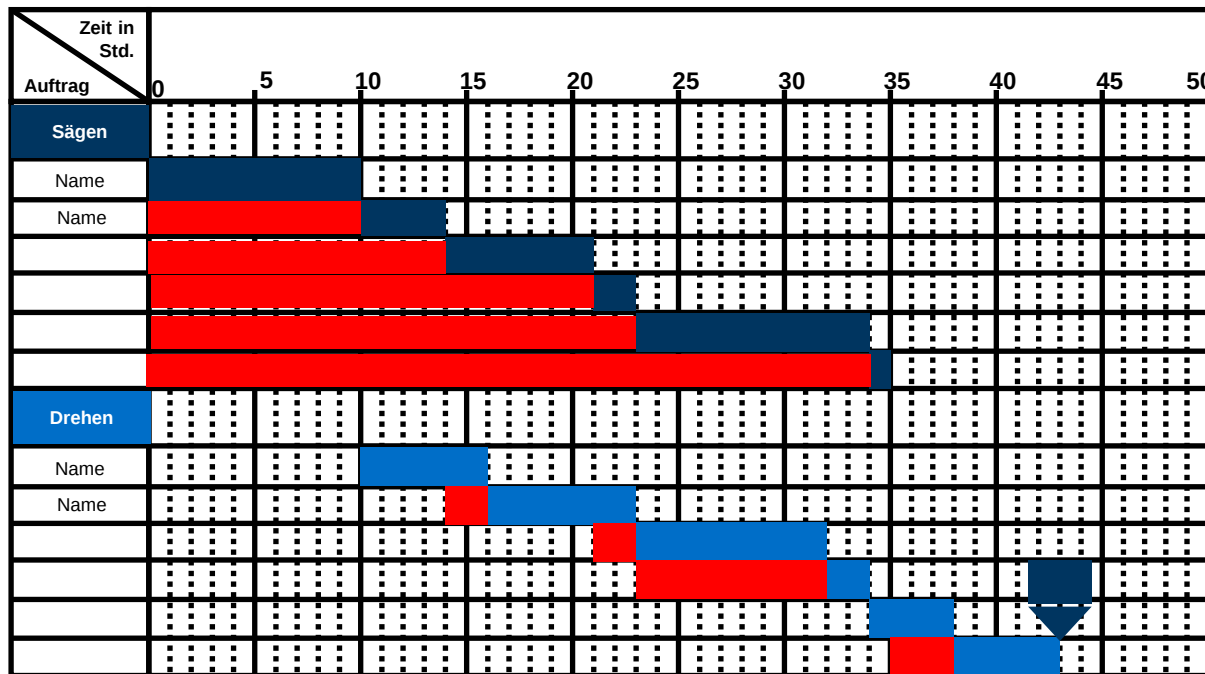


6 Aufträge mit je 2 Arbeitsvorgängen

| Auftrag | Zeit für<br>Sägen Std. | Zeit für<br>Drehen<br>Std. | DLZ<br>gesamt bei FIFO Std. | DLZ<br>gesamt bei KOZ Std. | Ø DLZ<br>FIFO<br>Std. | Ø DLZ<br>KOZ Std. |
|---------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------|
| Müller  | 10                     | 6                          |                             |                            |                       |                   |
| Schmidt | 4                      | 7                          |                             |                            |                       |                   |
| Keller  | 7                      | 9                          | ?                           | ?                          | ?                     | ?                 |
| Meier   | 2                      | 2                          |                             |                            |                       |                   |
| Schulte | 11                     | 4                          |                             |                            |                       |                   |
| Dirkes  | 1                      | 5                          |                             |                            |                       |                   |

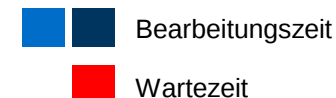
FIFO – First in First Out  
KOZ – Kürzestes Operationszeit  
LOZ – Längste Operationszeit

# AUFTRAGSEINPLANUNG OHNE REIHENFOLGE

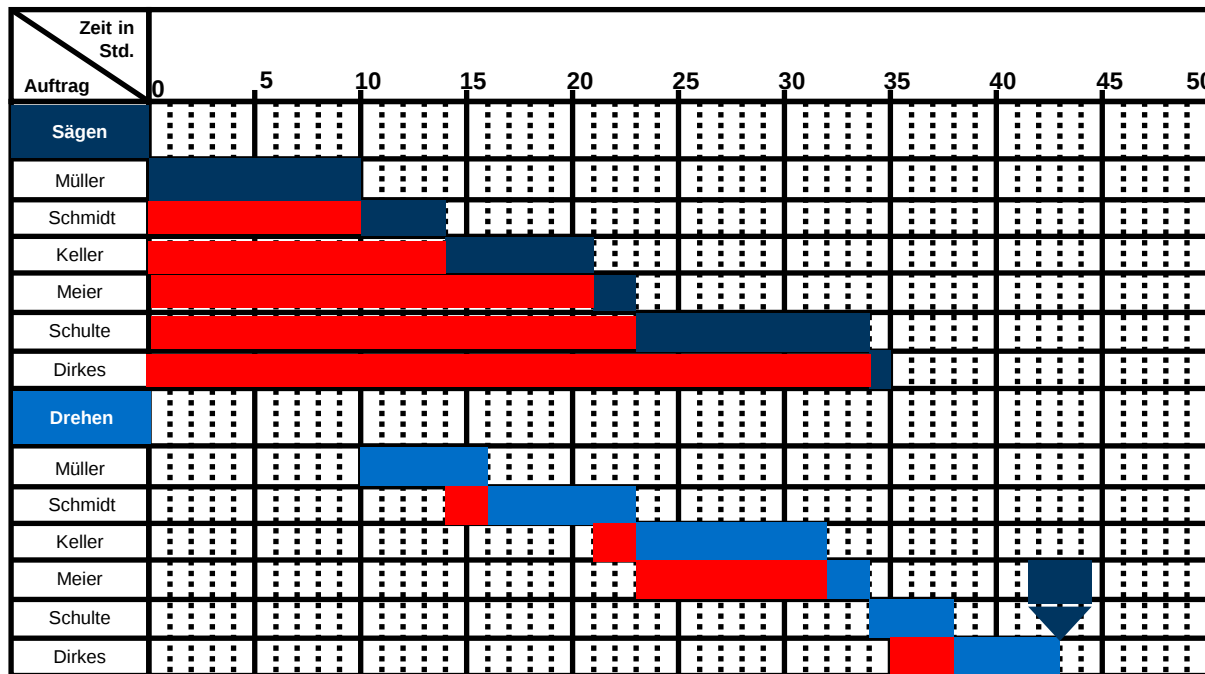


## Durchlaufzeit des Auftrages

|                        |         |
|------------------------|---------|
| Müller                 | 16 Std. |
| Schmidt                | 23 Std. |
| Keller                 | 32 Std. |
| Meier                  | 34 Std. |
| Schulte                | 38 Std. |
| Dirkes                 | 43 Std. |
| 186 Std. : 6 = 31 Std. |         |

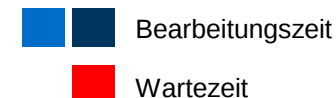


# AUFTRAGSEINPLANUNG OHNE REIHENFOLGE (FIFO)

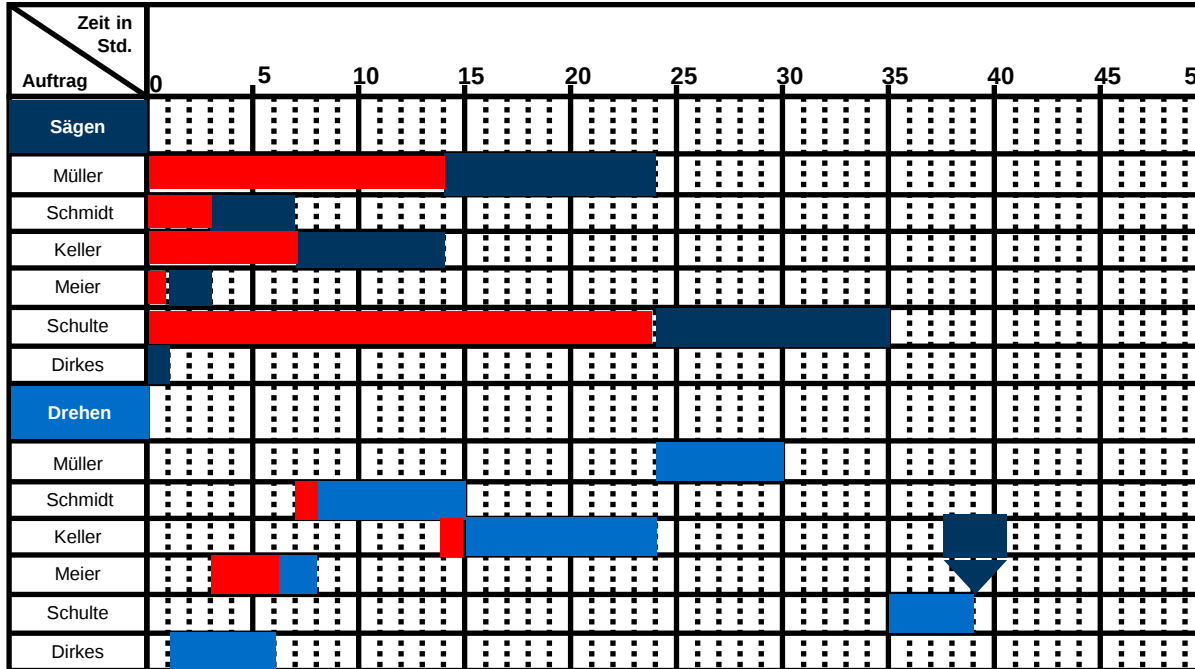


## Durchlaufzeit des Auftrages

|                        |         |
|------------------------|---------|
| Müller                 | 16 Std. |
| Schmidt                | 23 Std. |
| Keller                 | 32 Std. |
| Meier                  | 34 Std. |
| Schulte                | 38 Std. |
| Dirkes                 | 43 Std. |
| 186 Std. : 6 = 31 Std. |         |

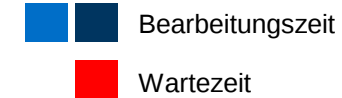


# KÜRZESTE-OPERATIONS-ZEIT-REGEL (KOZ)

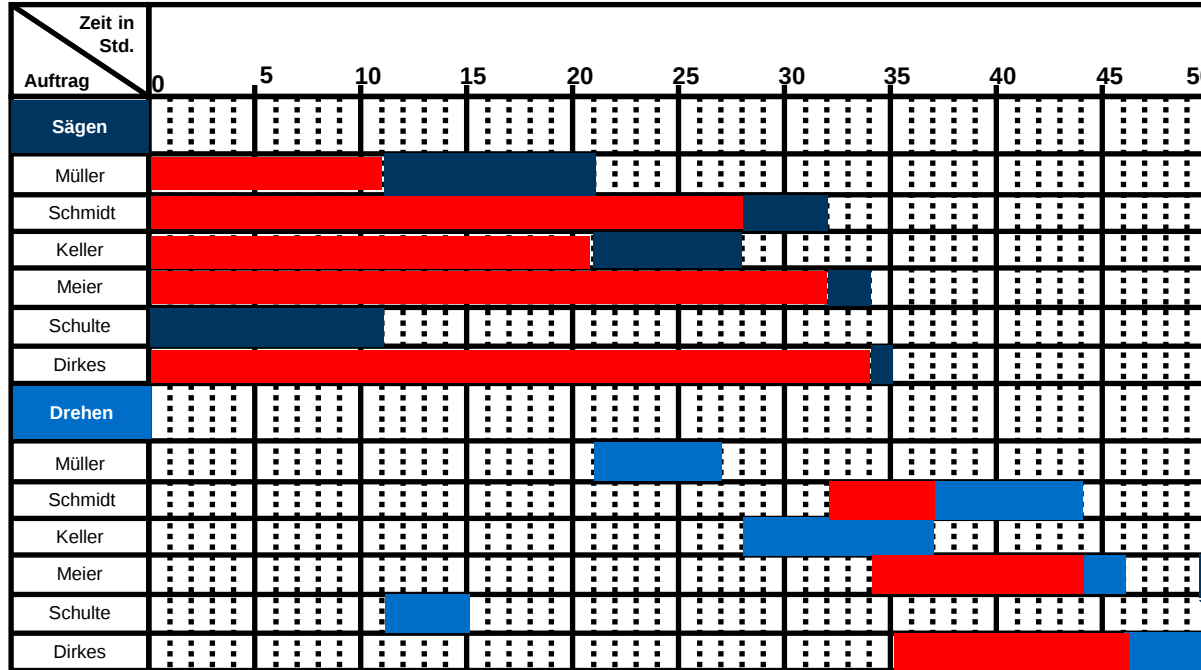


## Durchlaufzeit des Auftrages

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| Müller                   | 30 Std. |
| Schmidt                  | 15 Std. |
| Keller                   | 24 Std. |
| Meier                    | 8 Std.  |
| Schulte                  | 39 Std. |
| Dirkes                   | 6 Std.  |
| 122 Std. : 6 = 20,3 Std. |         |

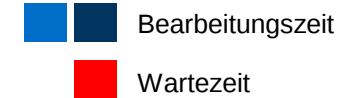


# LÄNGSTE-OPERATIONS-ZEIT-REGEL (LOZ)



## Durchlaufzeit des Auftrages

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| Müller                   | 27 Std. |
| Schmidt                  | 44 Std. |
| Keller                   | 37 Std. |
| Meier                    | 46 Std. |
| Schulte                  | 15 Std. |
| Dirkes                   | 51 Std. |
| 220 Std. : 6 = 36,6 Std. |         |





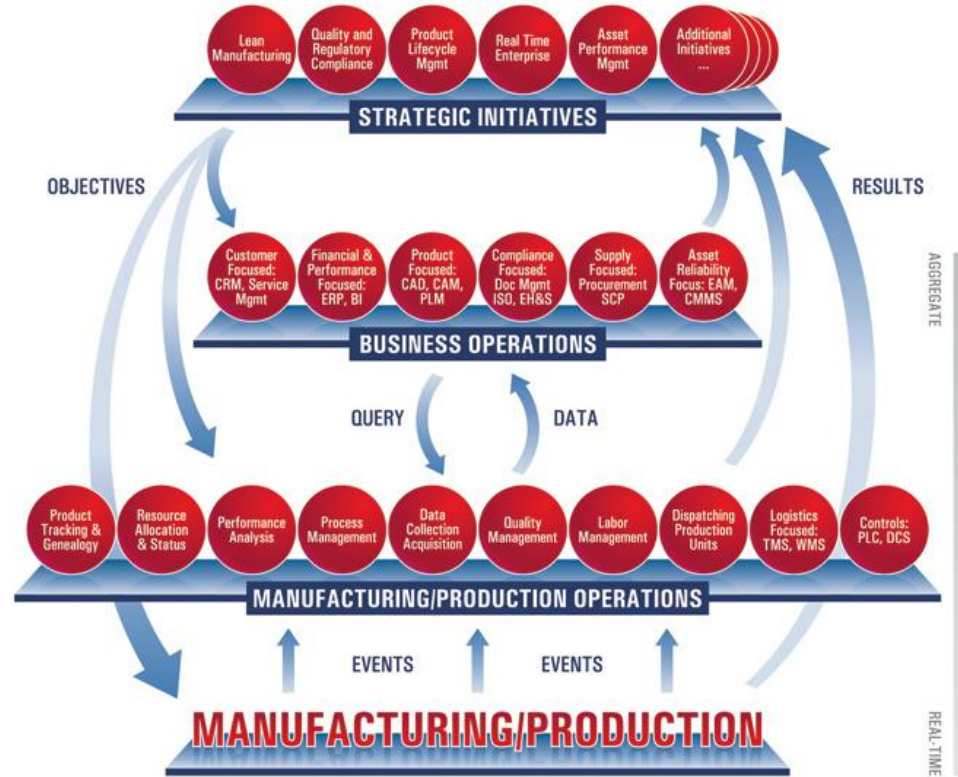
## Manufacturing Execution System Association (MESA)

- **Zwölf Funktionsgruppen für die effektive Unterstützung des Fertigungs-managements:**  
Feinplanung, Ressourcen-Management, Erfassen und Darstellung des aktuellen Status von Ressourcen, Dokumenten-Management, Materialmanagement, Leistungs-Analyse, Auftrags Management, Maintenance Management wie Wartung und Service, Prozess-Management, Qualitätsmanagement, Datenerfassung, Produkt-Entstehung und Verfolgung
- **Einführung „Collaborative MES (C-MES)“**  
MES auch als Daten- und Informations-drehscheibe



MESA Model (vor 2008)

# MESA MODEL (2008)



VERSION #2.1

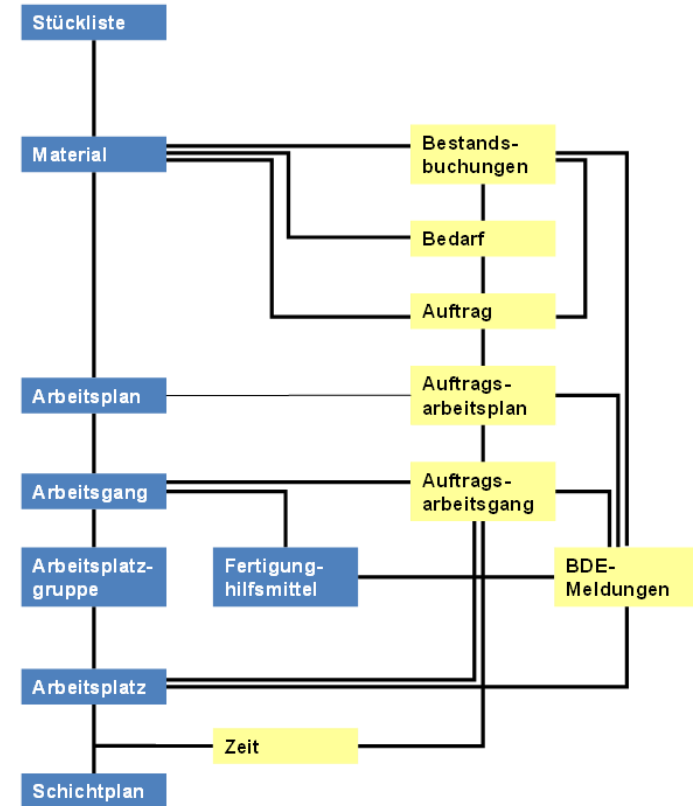
<http://www.mesa.org/en/modelstrategicinitiatives/MESAModel.asp>



## Grunddaten / Stammdaten

- Stammdaten sind die Grundlage zur Beschreibung betriebsinterner Geschäftsprozesse
  - Stammdaten bilden den Grundbestand der Daten
  - Stammdaten werden für einen längeren Zeitraum benötigt
  - Stammdaten weisen eine geringe Änderungshäufigkeit auf
  - Stammdaten benötigen eine intensive Pflege
- Beispiele wichtiger Stammdaten:
  - Materialstammdaten (Materielle Rohstoffe, Zwischenprodukte, Endprodukte)
  - Erzeugnisstrukturdaten (Stücklisten, Verwendungsnachweise)
  - Ressourcen (Arbeitsplätze, Maschinen)
  - Arbeitsplandaten (Arbeitspläne)

→ Übernahme von Stammdaten idealerweise aus vorhandenem ERP-System



Quelle: Loos, P. 1999



## Bewegungsdaten / abgeleitete Daten

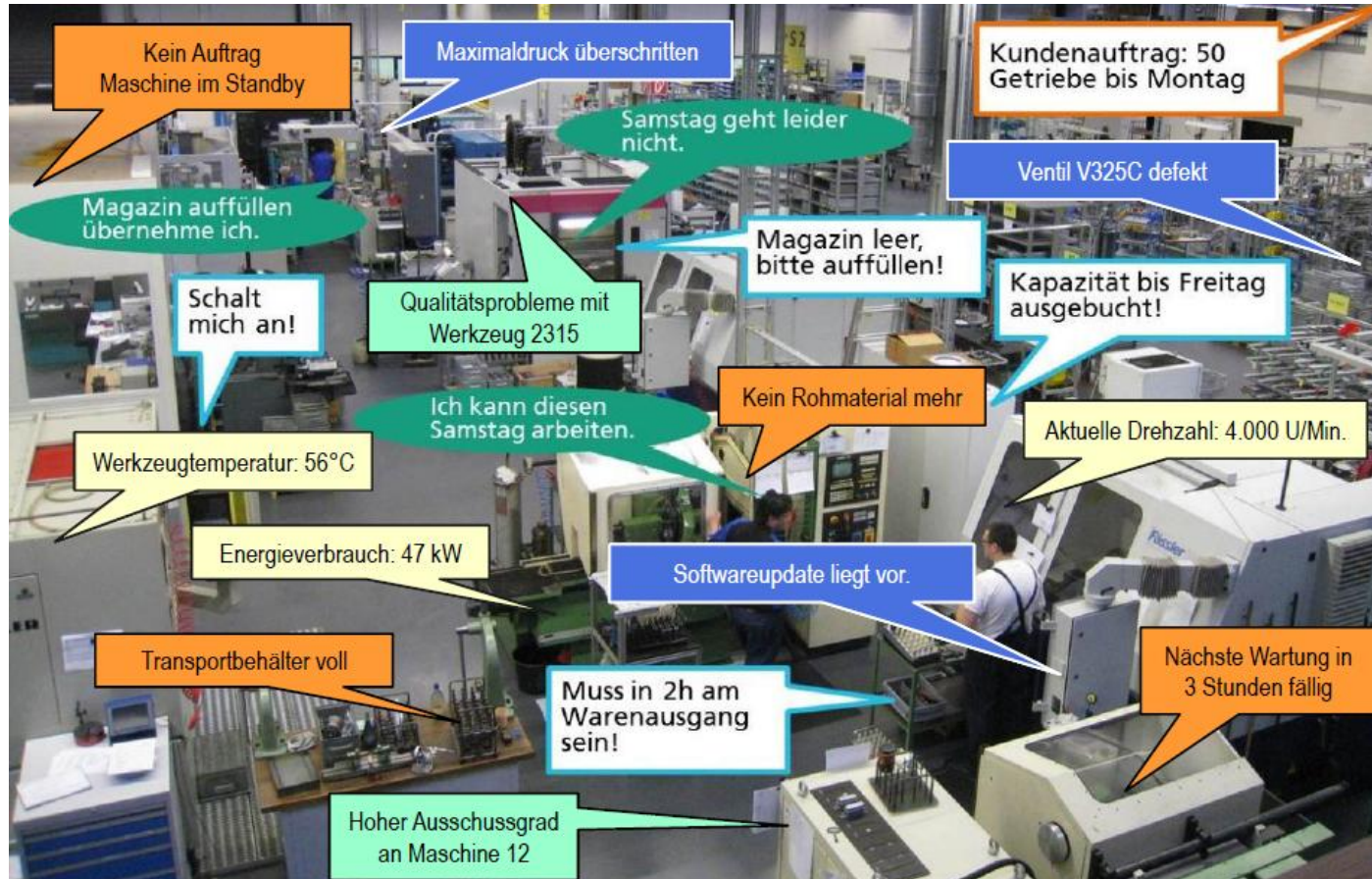
- Bewegungsdaten sind termingebunden und durchlaufen verschiedene Bearbeitungszustände
  - Bewegungsdaten weisen eine begrenzte Lebensdauer auf
  - Bewegungsdaten haben immer einen konkreten Zeitbezug
  - Bewegungsdaten werden häufig verändert
  - Lebenszyklen von Bewegungsdaten werden mit Statuszuständen eindeutig beschrieben
- Beispiele für Bewegungsdaten:
  - Kundenaufträge
  - Rechnungen
  - Bestellungen
  - Konten

# INFORMATIONEN IN DER FABRIK

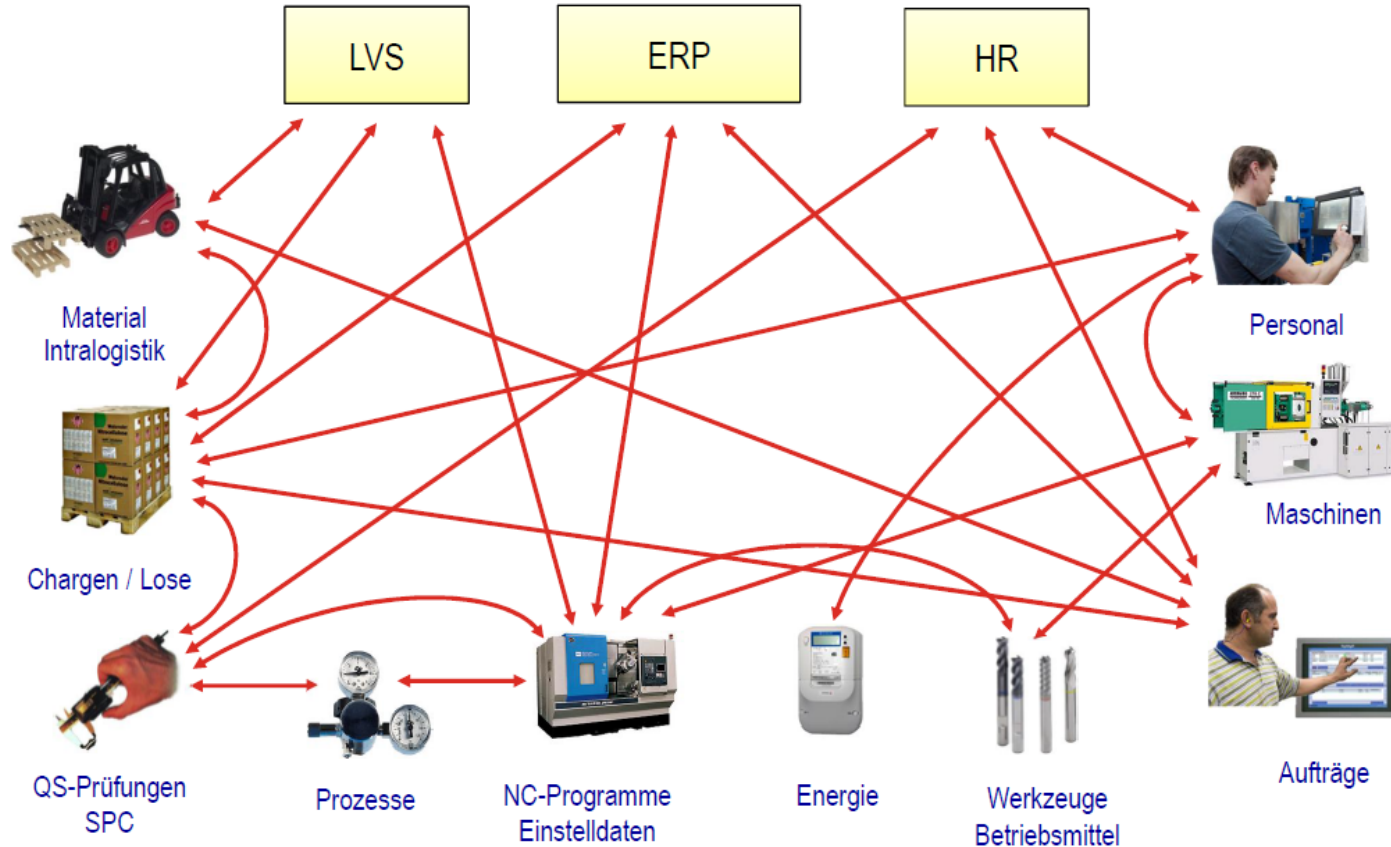


[https://www.kaltwasser.de/Bilder/\\_processed\\_/9/1/csm\\_B2B-Social-Media-Kommunikation\\_fb7c04baad.jpg](https://www.kaltwasser.de/Bilder/_processed_/9/1/csm_B2B-Social-Media-Kommunikation_fb7c04baad.jpg)

# INFORMATIONSFLOT AUF FERTIGUNGSEBENE

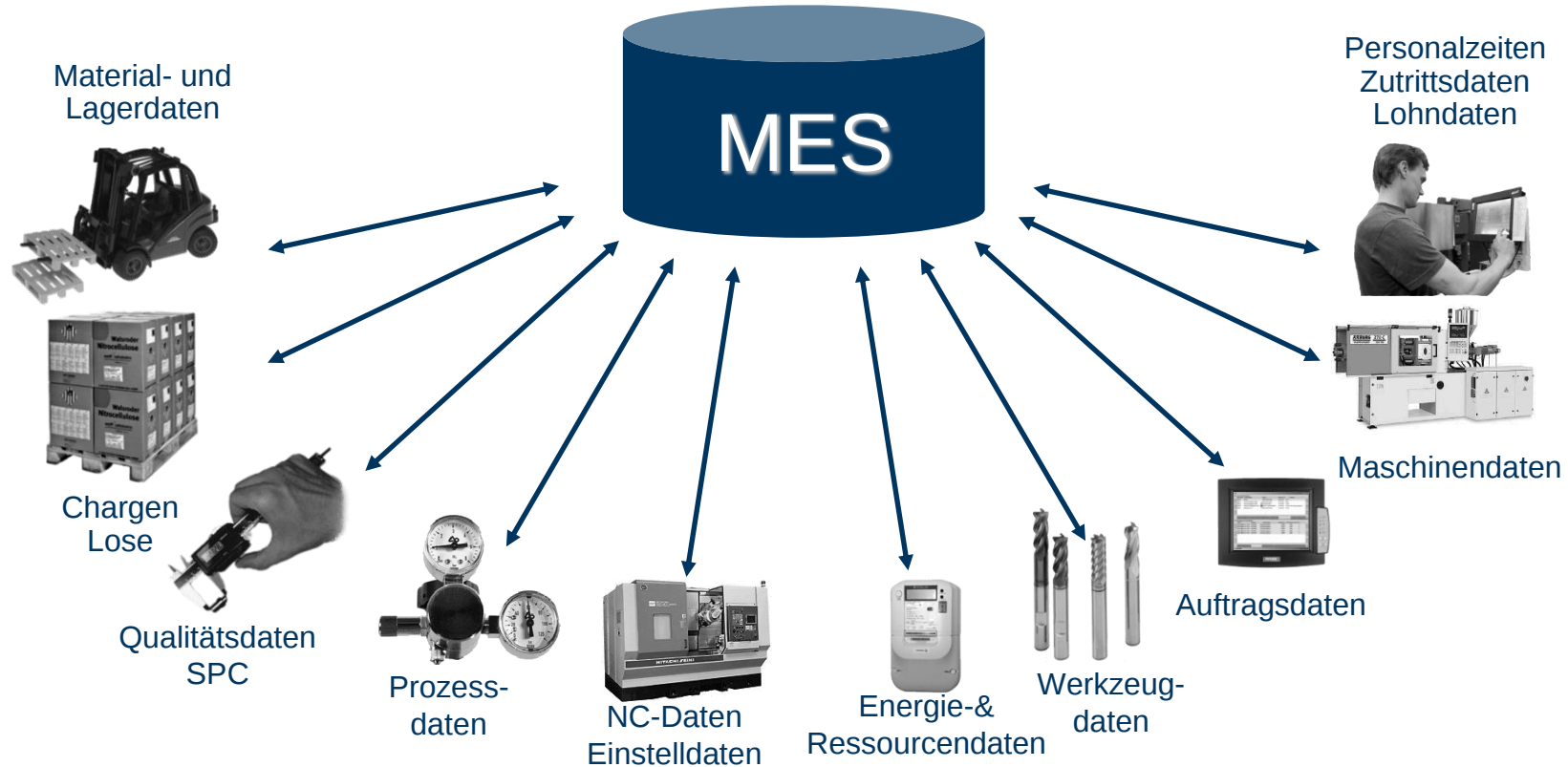


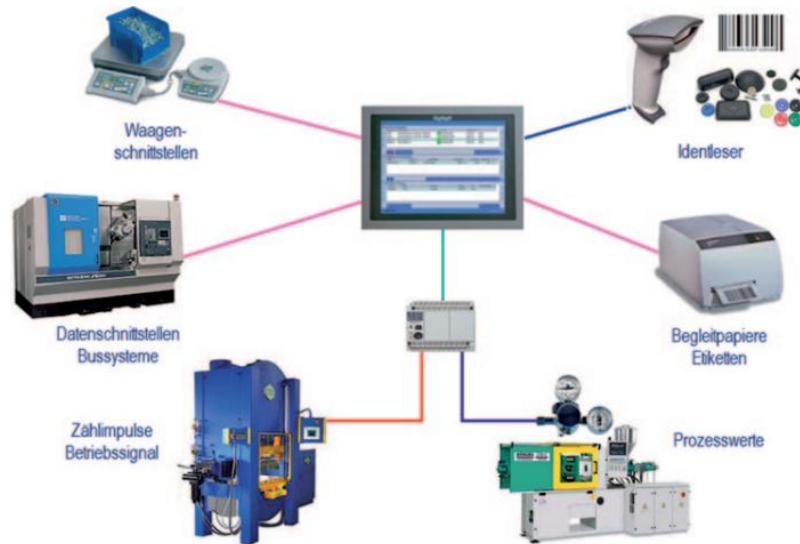
# VERNETZTE FERTIGUNG (OHNE MES)



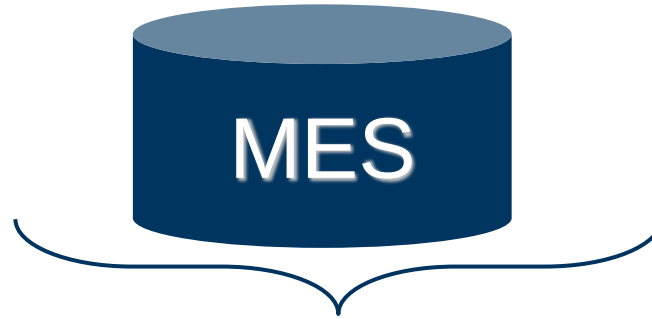
LVS: Lagerverwaltungssystem  
ERP: Enterprise Resource Planning  
HR: Human Resource

# HORIZONTALE INTEGRATION IM KONTEXT VON MES





# HORIZONTALE INTEGRATION IM KONTEXT VON MES



# VERTIKALE INTEGRATION IM KONTEXT VON MES



Ebenen

Systeme

Unternehmens-  
leitebene

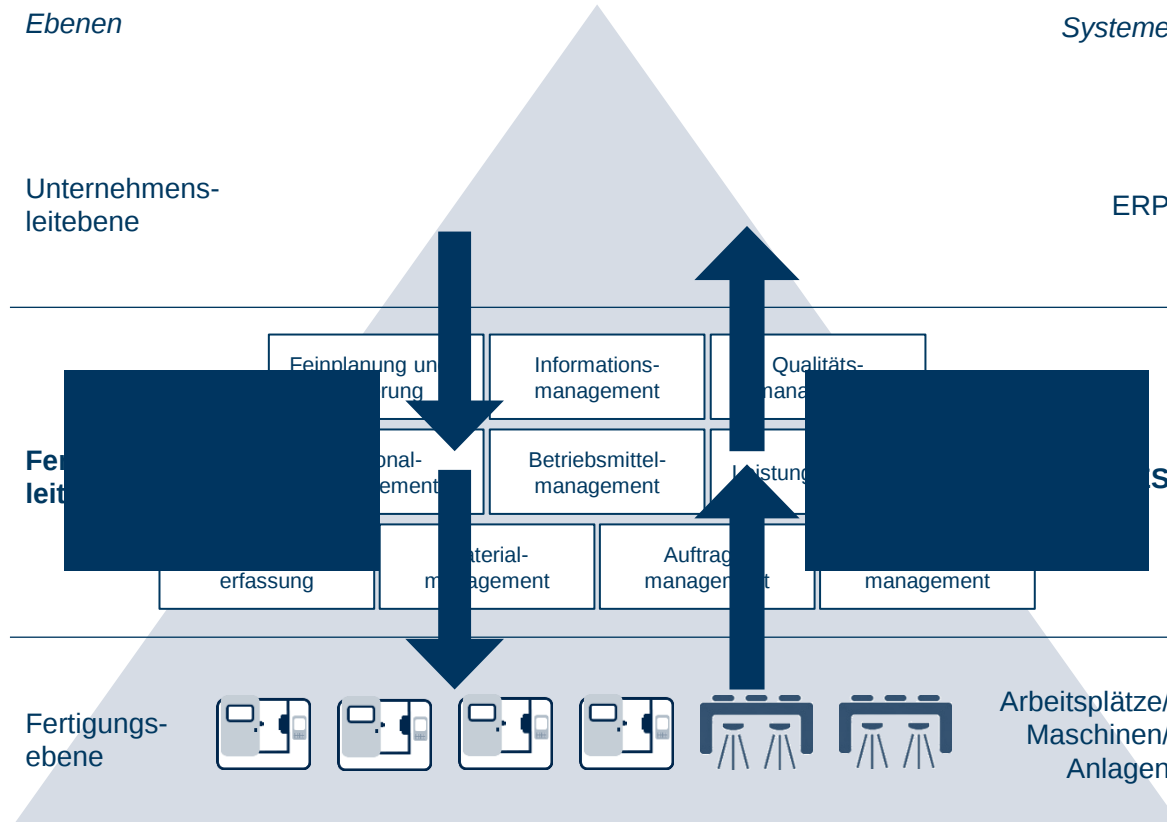
ERP

Fertigungs-  
leitebene

PLM

Fertigungs-  
ebene

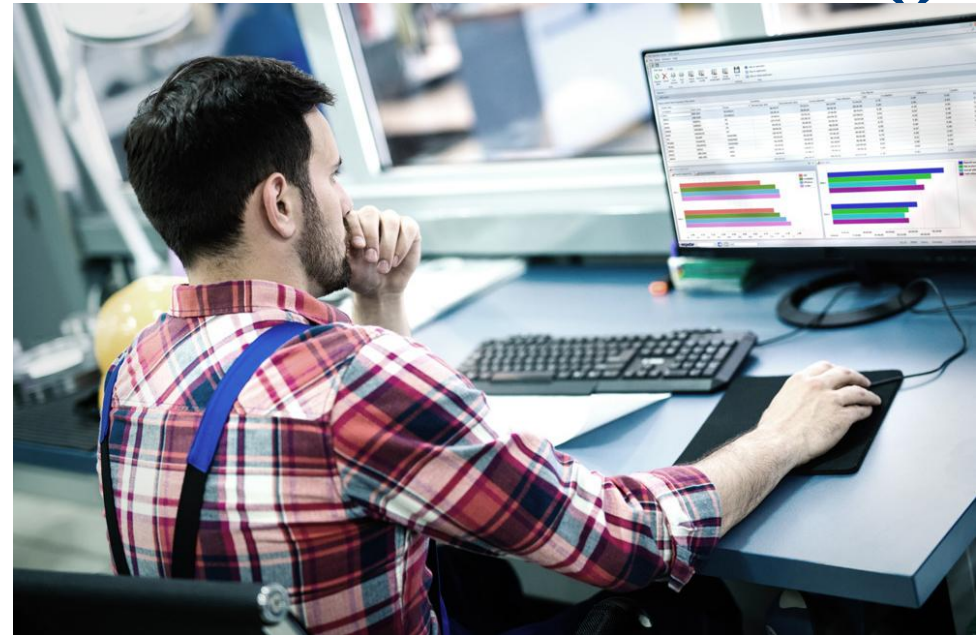
Arbeitsplätze/  
Maschinen/  
Anlagen





| Kategorie          | Verpflichtungsgegenstand                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zukunft            | Verpflichtungsgegenstand = <i>Wachstumsindikator</i><br>geringer Anstieg                                                                                                                                                                           |
| Staat              | Das Verpfichtungsgegenstand ist ein Maß für die Unklarheit, die durch Außenposten und Rückstellungen entstehen. Das Verpfichtungsgegenstand gibt die betriebliche Wachstumsindikator an. Das Verpfichtungsgegenstand ist ein Maß für die OEE (OEE) |
| Unternehmenswerten | Welche Leistungen, welche Investitionen, Planung, Management                                                                                                                                                                                       |
| Messung            | Welche Leistungen, welche Investitionen, Planung, Management                                                                                                                                                                                       |

|                                                                                                                                                                               |                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| <p>Die folgenden Aussagen sind in der Regel falsch. Sie sind nur dann richtig, wenn es sich um eine bestimmte Aussage handelt, die in der Aufgabenstellung angegeben ist.</p> |                                   |
| Unschärferelation                                                                                                                                                             | Nicht messbar, Planung, Strategie |
| Messung                                                                                                                                                                       | Nicht messbar, Planung, Strategie |



45



- Durchlaufzeit
- Prozesswirkungsgrad
- Beleggrad
- Termintreue
- Durchsatz
- **OEE**
- Verfügbarkeitsgrad
- Leistungsgrad
- Nutzgrad
- Belegnutzgrad
- Technischer Nutzgrad
- Rüstgrad
- Qualitätsgrad
- Ausschuss
- Nacharbeitsgrad
- Maschineneffizienz
- Personalproduktivität
- Lean Performance Index
- Deckungsgeschwindigkeit  
Materialreichteite
- EPEI – Every Part Every Interval



< Übersicht

33021833

PRODUKTION4 >

fälligsseit 126 Minute(n)

403121381

KEIN MATERIAL5

406457A2500

PRODUKTION13

fälligsseit 126 Minute(n)

406457B66

PRODUKTION0

PZE

Nachrichten

Arbeitsplatz / Maschine

|                                                                                   |                           |                            |                      |                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------|
| Arbeitsplatz / Maschine<br>33021                                                  | Kurzbezeichnung<br>HAND02 | Gruppe<br>FINISH           | Status<br>PRODUKTION | OEE<br>0,65                 |
|  | Takte<br>0                | Beginn<br>22.03.2016 06:00 |                      | Dauer [Std:Min]<br>11955:29 |
|                                                                                   | Sollzyklus<br>20,000      |                            | Istzyklus<br>0,000   | Nutzgrad<br>71,20           |
|                                                                                   | Gutmenge<br>833           |                            | Ausschuss<br>4       |                             |
|                                                                                   |                           | Ausschussquote<br>0,47     |                      |                             |

Arbeitsgänge

+

MES Auftragsnummer  
S30002090200

Entgraten

Prüfstatus  
fälligseit 126 Minute(n)

Mengen (Soll / Gut / Ausschuss)  
1200 / 660 / 0

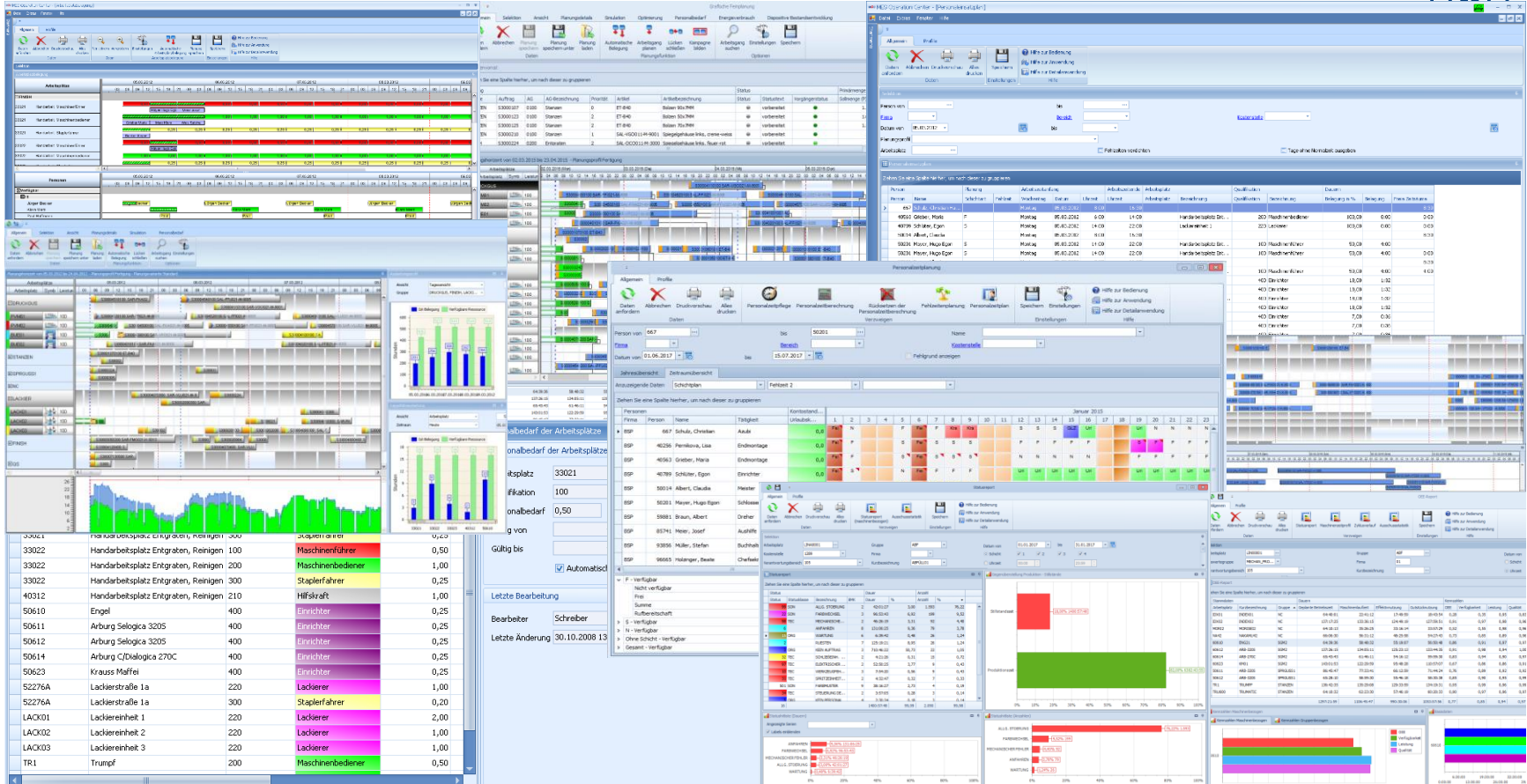


Angemeldete Personen

|              |                      |                      |                        |                        |                  |
|--------------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|------------------|
| <div>+</div> | Person<br>10002630   | Person<br>85741      | Person<br>40563        | Person<br>10002854     | Person<br>50014  |
|              | Name<br>Weis, Sabine | Name<br>Meier, Josef | Name<br>Grieber, Maria | Name<br>Becker, Jürgen | Name<br>Albert > |



# MES – PLANUNG





Über den VPN der RUB sind viele Springer Bücher zum Download verfügbar unter <https://link.springer.com/>

- Wiendahl, H.-P.: Betriebsorganisation für Ingenieure, 5. Aufl. Carl Hanser, München (2005)
- Günther und Boppert: Lean Logistics. Springer. ISBN 978-3-642-37326-8. 2013
- Kletti: Konzeption und Einführung von MES-Systemen. Springer. ISBN 978-3-540-34311-0. 2007
- Kletti, Jürgen; Schumacher, J. (2014): Die perfekte Produktion. Manufacturing excellence durch short interval technology (SIT). Springer. ISBN 978-3-662-45441-1. 2014
- Gerberich: Lean oder MES in der Automobilzulieferindustrie. Springer. ISBN 978-3-8349-6754-1. 2011
- VDMA-Einheitsblatt „MES Kennzahlen VDMA 66412-1“