

Time-Series forecasting

Example with fbprophet in Python- Installation Guide



- Start Anaconda Navigator (Anaconda3)
- In the menu left go from “Home” to „Environments“
- Click on the button Create and name the new environment e.g. „Python 3.7“ choose python 3.7 package
- Click on the arrow right to “Python 3.7” and click “open terminal”
- Enter “conda install pystan=2.18.0.0” > and say yes [y] during installation
- Enter “conda install -c conda-forge fbprophet=0.6.0” > and say yes [y] during installation
- Enter “conda install -c plotly plotly=4.14.3” > and say yes [y] during installation
- Now pystan, fbprophet and plotly should appear in the installed packages for the new environment.

https://facebook.github.io/prophet/docs/quick_start.html

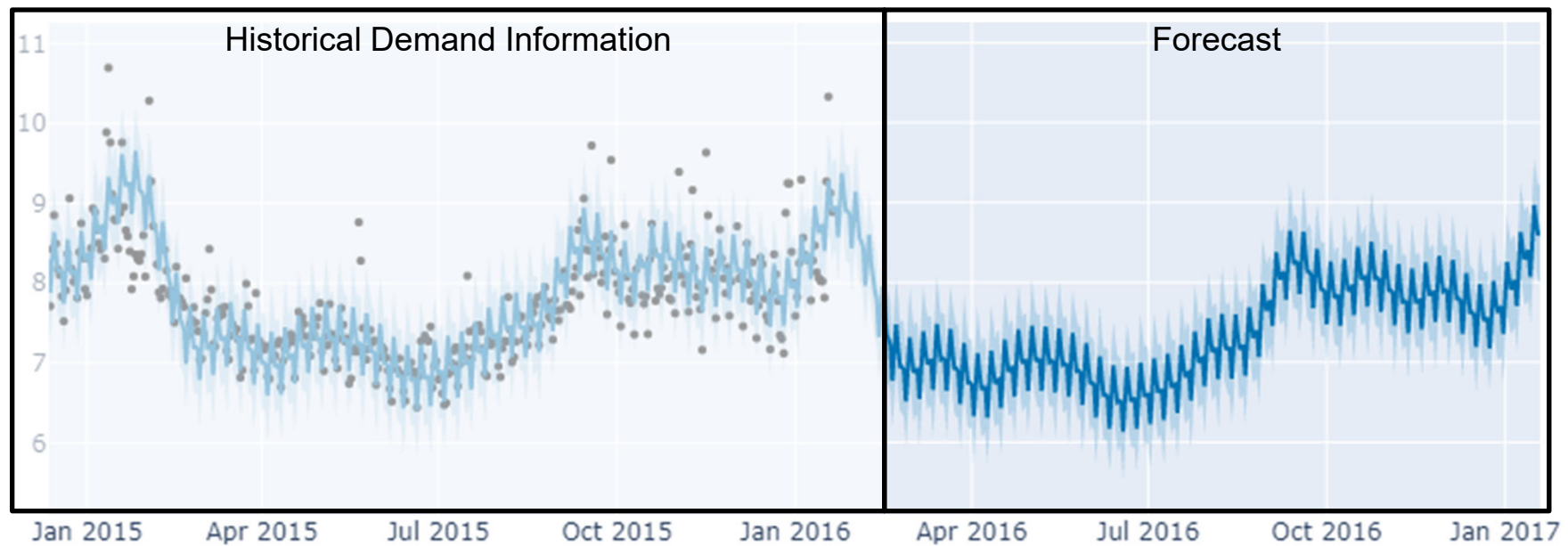
Time-Series forecasting

Example with fbprophet in Python

medien & digitale
technologien



PROPHET



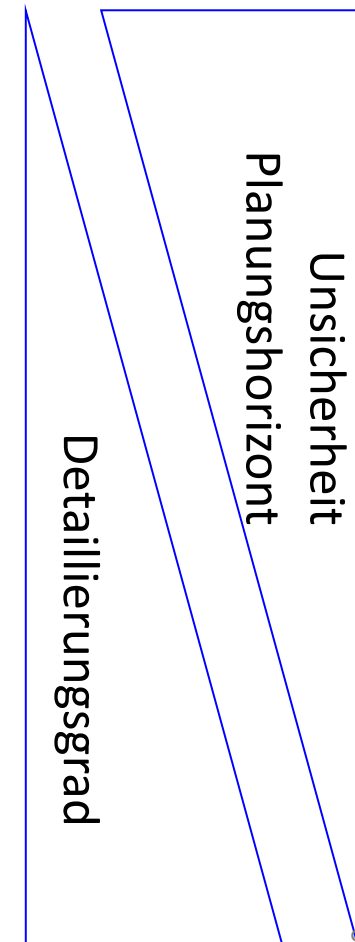
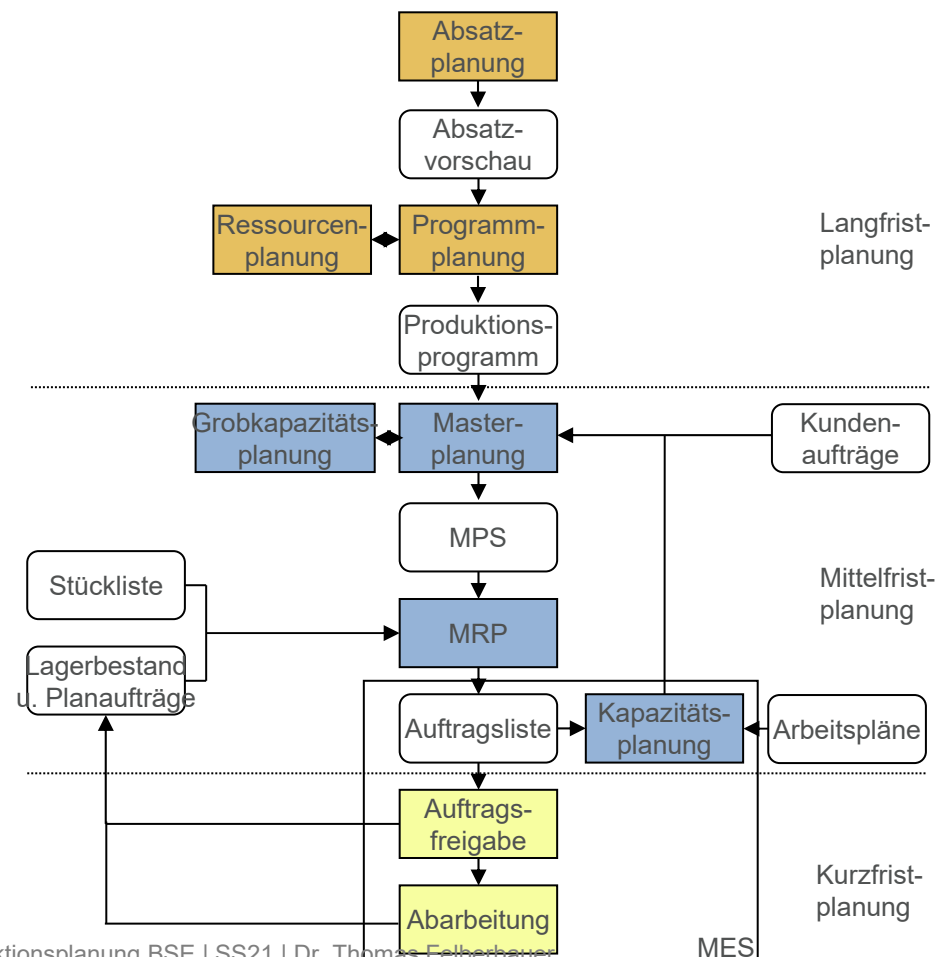
https://facebook.github.io/prophet/docs/quick_start.html

PROGRAMMPLANUNG

Programmplanung

Manufacturing Resource Planning (MRP II)

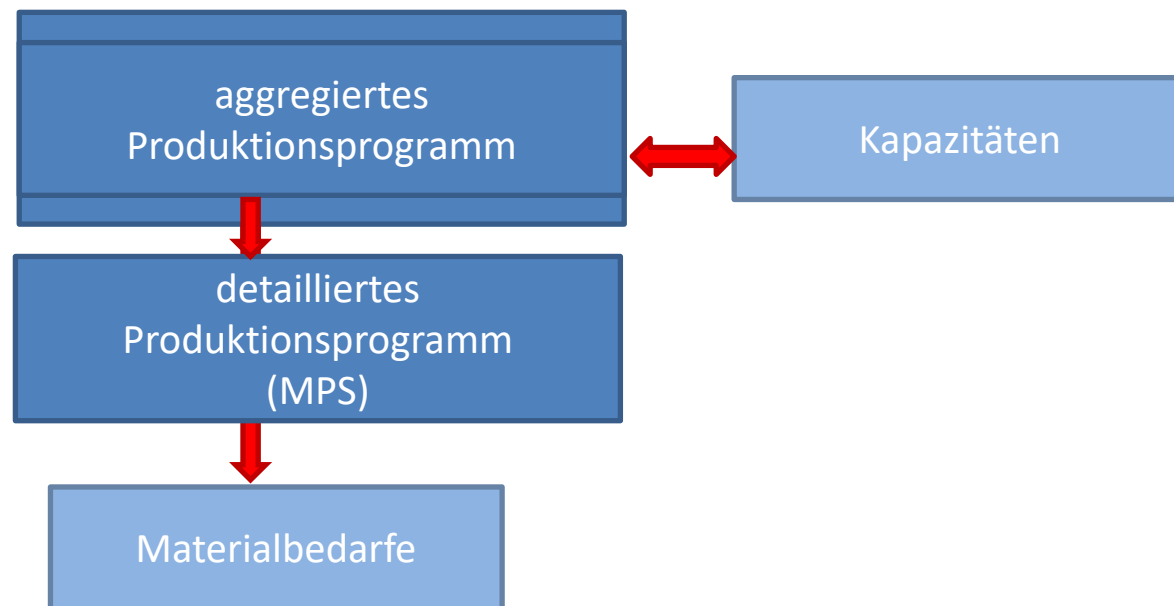
medien & digitale
technologien



Programmplanung

Aggregiertes und detailliertes Produktionsprogramm (APP)

/medien & digitale
technologien



Programmplanung

Aggregierte Planung

Aggregierte Planung

zeitliche Aggregation

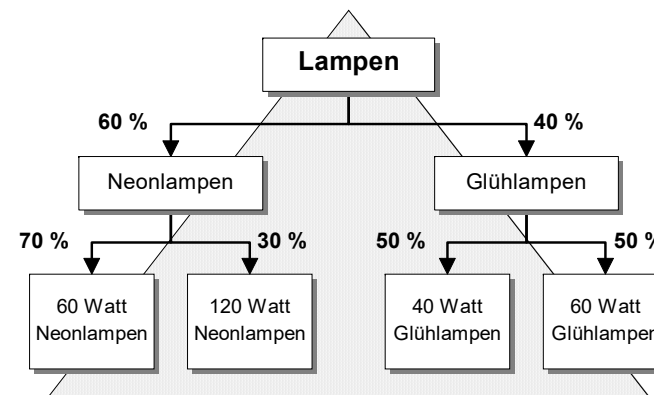
- Wochen
- Monate
- Quartale

sachliche Aggregation

Basis: Produktgruppen

- Maschinenfolge
- Rohstoffbedarf
- Kapazitätsbedarf
- (saisonale) Nachfrageentwicklung

Disaggregationsschlüssel „Planungsstückliste“



Programmplanung

Ressourcenplanung

- Grad der Beeinflussbarkeit des Absatzes
 - Absatzmengen sind vorgegeben
 - Absatz**höchst**mengen sind definiert
 - Simultanplanung: Produktion und Absatz

Programmplanung

Lineare Optimierung – Beispiel

Das Unternehmen Tires Inc. produziert Sommer- und Winterreifen. Es beliefert sowohl Automobilhersteller als auch den Fachhandel. Mit einem Automobilhersteller gibt es eine langfristige Liefervereinbarung über 180.000 Winterreifen und 300.000 Sommerreifen (pro Jahr).

Die Produktion erfolgt in den folgenden drei Bereichen mit den angeführten Kapazitätsangeboten (pro Jahr):

Vulkanisieranlage: 18.800 h

Montage/Profil: 28.000 h

Qualitätssicherung: 9.900 h

Für die Produktion von 1000 Winterreifen benötigt man an der Vulkanisieranlage 23,5 Stunden, in der Abteilung Montage/Profil 25 h und in der Qualitätssicherung 15 h.

1000 Sommerreifen verbrauchen 20 h Kapazität an der Vulkanisieranlage, 35 h in der Abteilung Montage/Profil und 7,5 h in der Qualitätssicherung.

Der Deckungsbeitrag je 1000 Stück beträgt bei den Sommerreifen 17.000 € und bei den Winterreifen 15.000 €.

Wie lautet das optimale Produktionsprogramm?

Programmplanung

Lineare Optimierung – Beispiel

Schritt 1: Modellformulierung

	W [1000 Stk.]	S [1000 Stk.]	Kapazität
VA	23,5	20	18.800
MP	25	35	28.000
QS	15	7,5	9.900
DB	15.000	17.000	

Zielfunktion: (Zielgröße = Deckungsbeitrag)

$$15.000 W + 17.000 S = DB \Rightarrow \max!$$

Nebenbedingungen: (Restriktionen)

Vulkanisieranlage: $23,5 W + 20 S \leq 18.800$

Montage/Profil: $25 W + 35 S \leq 28.000$

Qualitätssicherung: $15 W + 7,5 S \leq 9.900$

Mindestproduktion W: $W \geq 180$

Mindestproduktion S: $S \geq 300$

Nichtnegativitätsbedingung: $W, S \geq 0$ (in diesem Fall eigentlich nicht notwendig)

Mindestproduktionsmenge für Winterreifen:

180.000 Stück

Mindestproduktionsmenge für Sommerreifen:

300.000 Stück

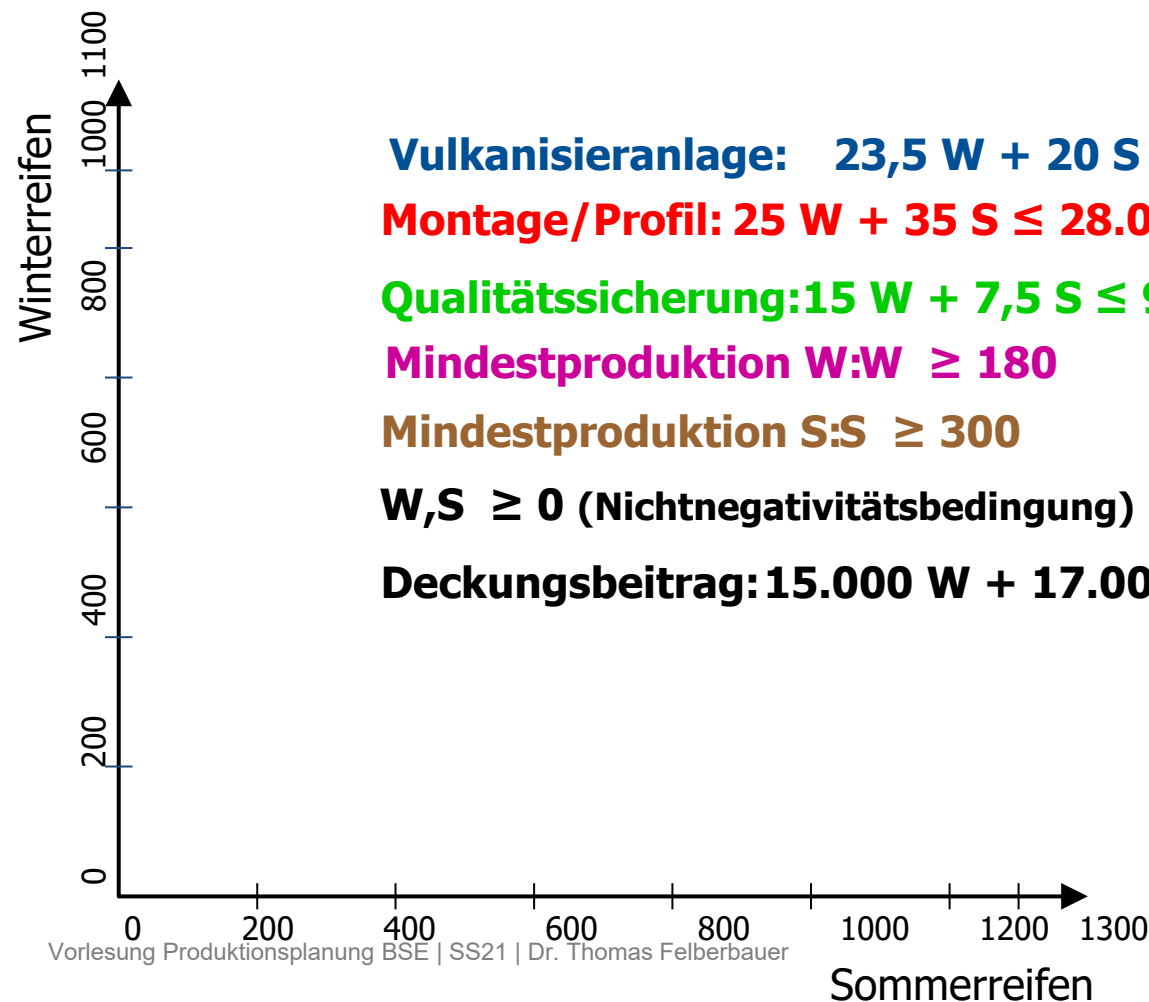
Programmplanung

Lineare Optimierung – Beispiel

/medien & digitale
technologien



Schritt 2: Grafik vorbereiten



Vulkanisieranlage: $23,5 W + 20 S \leq 18.800$

Montage/Profil: $25 W + 35 S \leq 28.000$

Qualitätssicherung: $15 W + 7,5 S \leq 9.900$

Mindestproduktion W: $W \geq 180$

Mindestproduktion S: $S \geq 300$

W, S ≥ 0 (Nichtnegativitätsbedingung)

Deckungsbeitrag: $15.000 W + 17.000 S = DB \Rightarrow \max!$

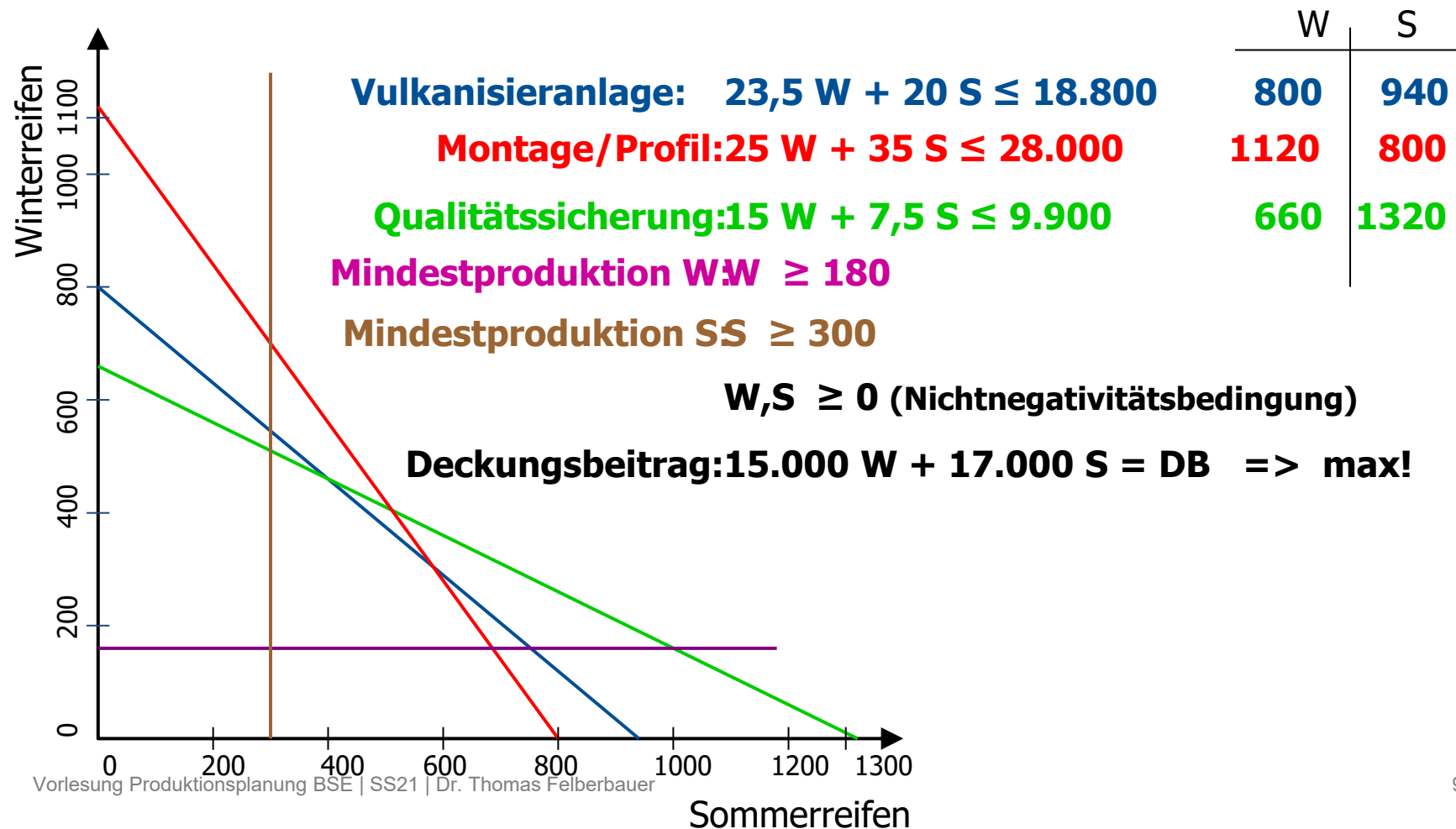
	W	S
Vulkanisieranlage:	800	940
Montage/Profil:	1120	800
Qualitätssicherung:	660	1320

Programmplanung

Lineare Optimierung – Beispiel

Schritt 3: Restriktionen einzeichnen

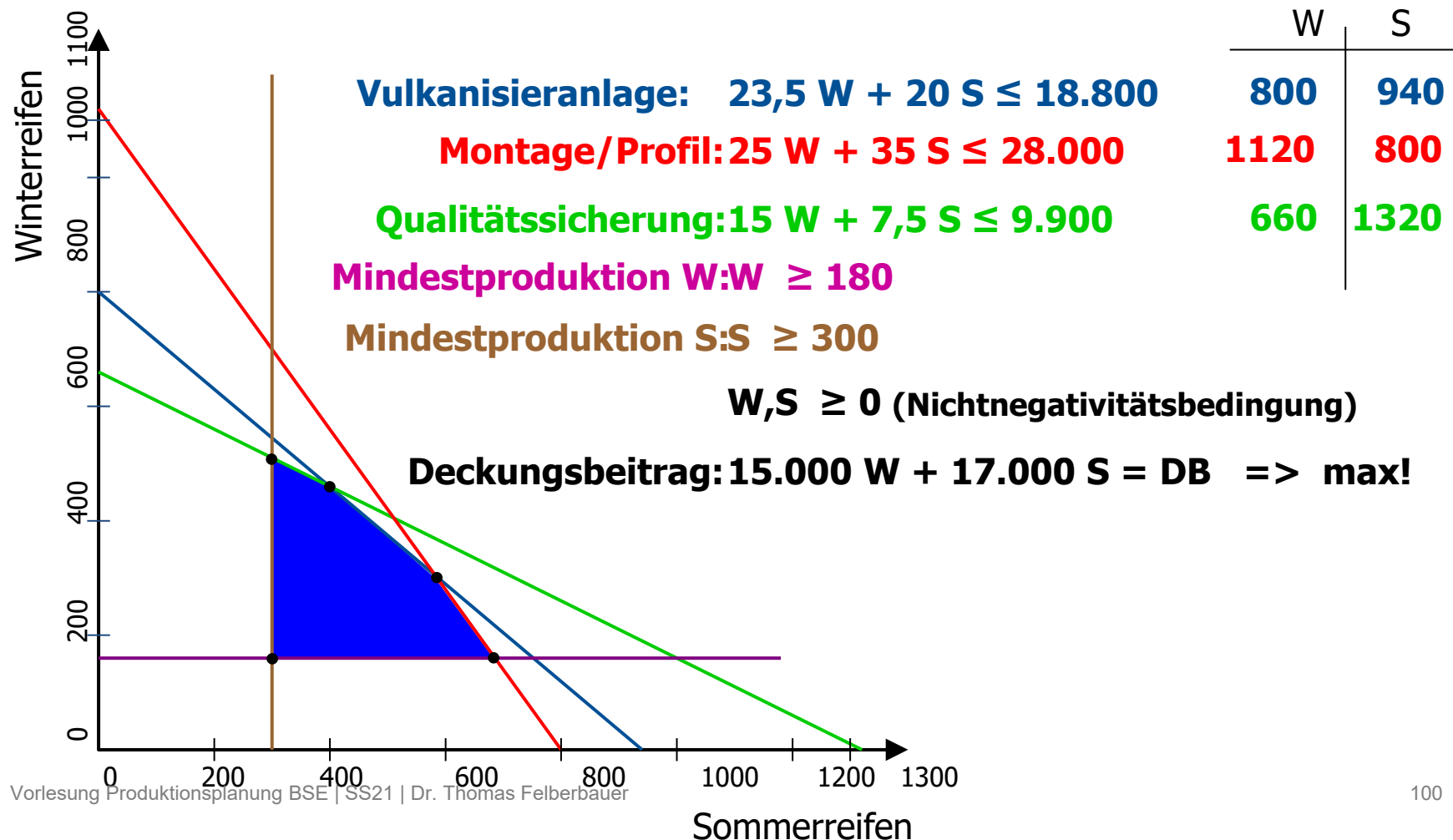
medien & digitale
technologien



Programmplanung

Lineare Optimierung – Beispiel

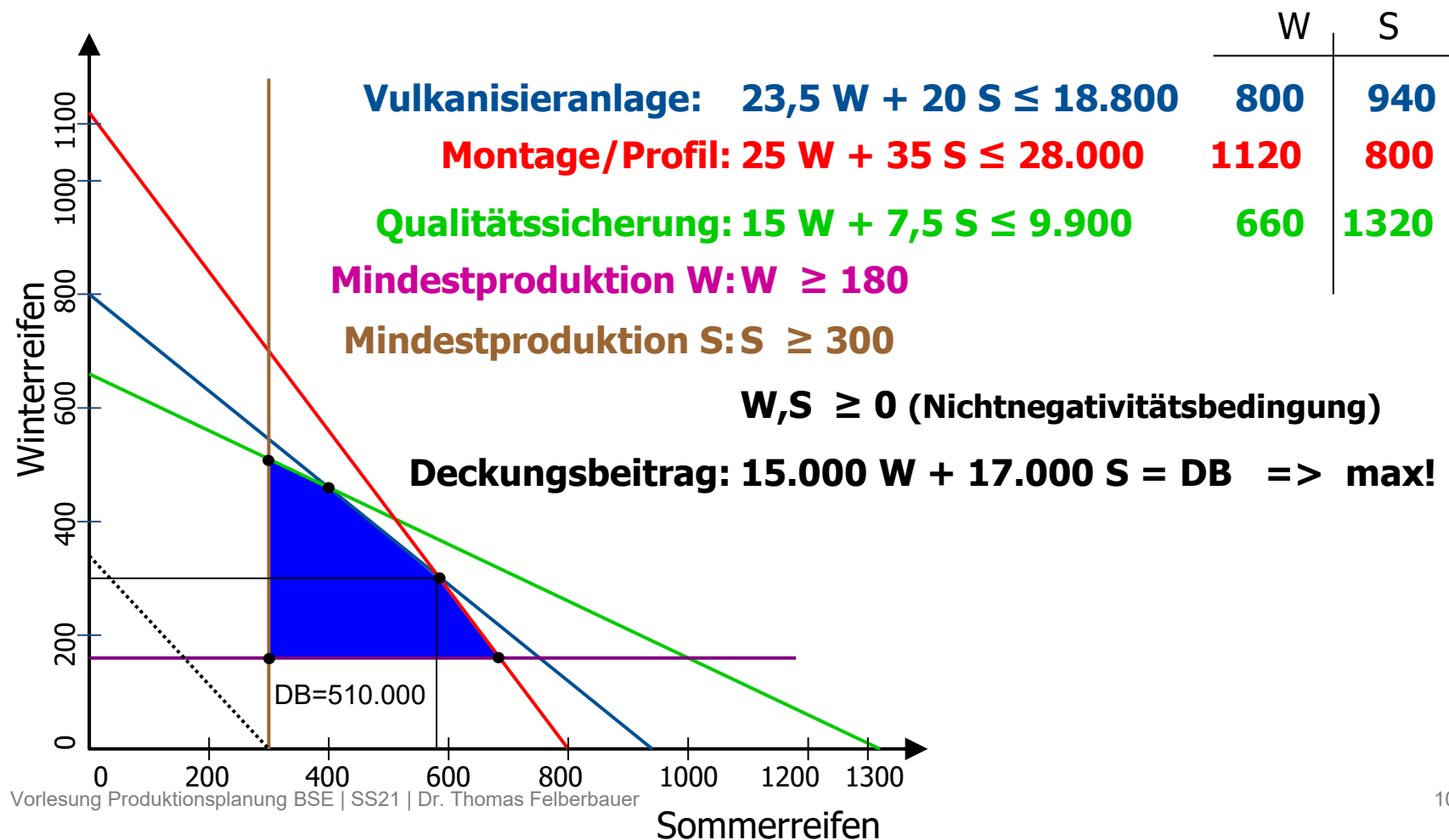
Schritt 4: Lösungsraum - Eckpunkte



Programmplanung

Lineare Optimierung – Beispiel

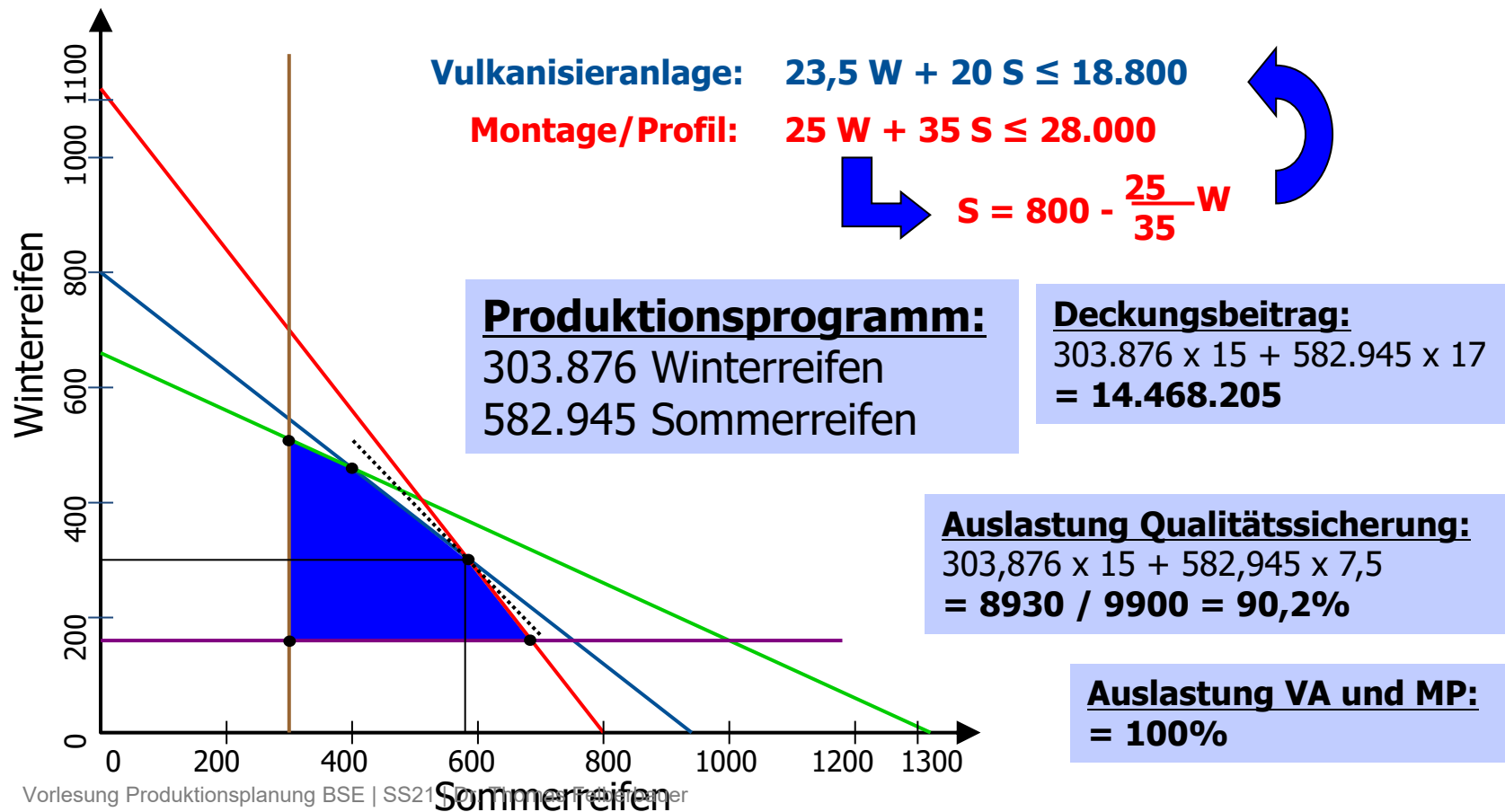
Schritt 5: Zielfunktion einzeichnen



Programmplanung

Lineare Optimierung – Beispiel

Schritt 6: ZF – Maximum bestimmen



Programmplanung

Lineare Optimierung – Bestandteile

/medien & digitale
technologien



- Zielfunktion (ZF)
- Nebenbedingungen (NB)

Programmplanung

Lineare Optimierung – Zielfunktion

- Deckungsbeitrag maximieren

$$\max Q = \sum_{k=1}^n q_k \cdot x_k = \sum_{k=1}^n (e_k - z_k) \cdot x_k$$

Q ... Gesamt – Deckungsbeitrag

q_k ... Deckungsbeitrag je Stueck fuer Produktart k

x_k ... Produktionsmenge fuer Produktart k

e_k ... Erloes je Stueck fuer Produktart k

z_k ... variable Kosten je Stueck fuer Produktart k

- Kapazitätsnachfrage \leq Kapazitätsangebot

$$\sum_{k=1}^n b_{ik} \cdot x_k \leq C_i^{\max} \quad \forall \quad i = 1, \dots, m$$

b_{ik} ... Kapazitätsbedarf für Produkttyp k in Produktionsbereich i

C_i^{\max} ... vorhandene Kapazität in Produktionsbereich i

Programmplanung

Lineare Optimierung – NB: Absatzschranken

/medien & digitale
technologien



- Produktionsmengen \leq Nachfragemengen

$$x_k \leq d_k$$

\forall

$$k = 1, \dots, n$$

d_k ... *Nachfragemenge für Produkt k (= maximaler Absatz)*

Programmplanung

Lineare Optimierung –

NB: Nichtnegativitätsbedingungen oder
Mindestmenge

- Produktionsmengen ≥ 0

/medien & digitale
technologien



$$x_k \geq 0$$

$$\forall \quad k = 1, \dots, n$$

Programmplanung

Grundmodell der Programmplanung

Modellannahmen:

- standardisierte **Enderzeugnisse**
- Deckungsbeitrag bekannt und linear
- **unternehmensexterne und interne Restriktionen**
- **Zielfunktion**
- **keine Lagerhaltung**, Betrachtung von **1 Periode**

Berücksichtigte Nebenbedingungen (Restriktionen):

- **Kapazitäts- und Beschaffungsbeschränkungen**
- **Marktbeschränkungen** (Absatzober- und Untergrenzen)

Programmplanung

Grundmodell der Programmplanung

Ergebnis der linearen Optimierung:

- (erfolgs)**optimales Produktionsprogramm**
- erzielbarer Erfolg (meist **Deckungsbeitrag**)
- **Kapazitätsbelastung**, Engpässe, verfügbare Restkapazität

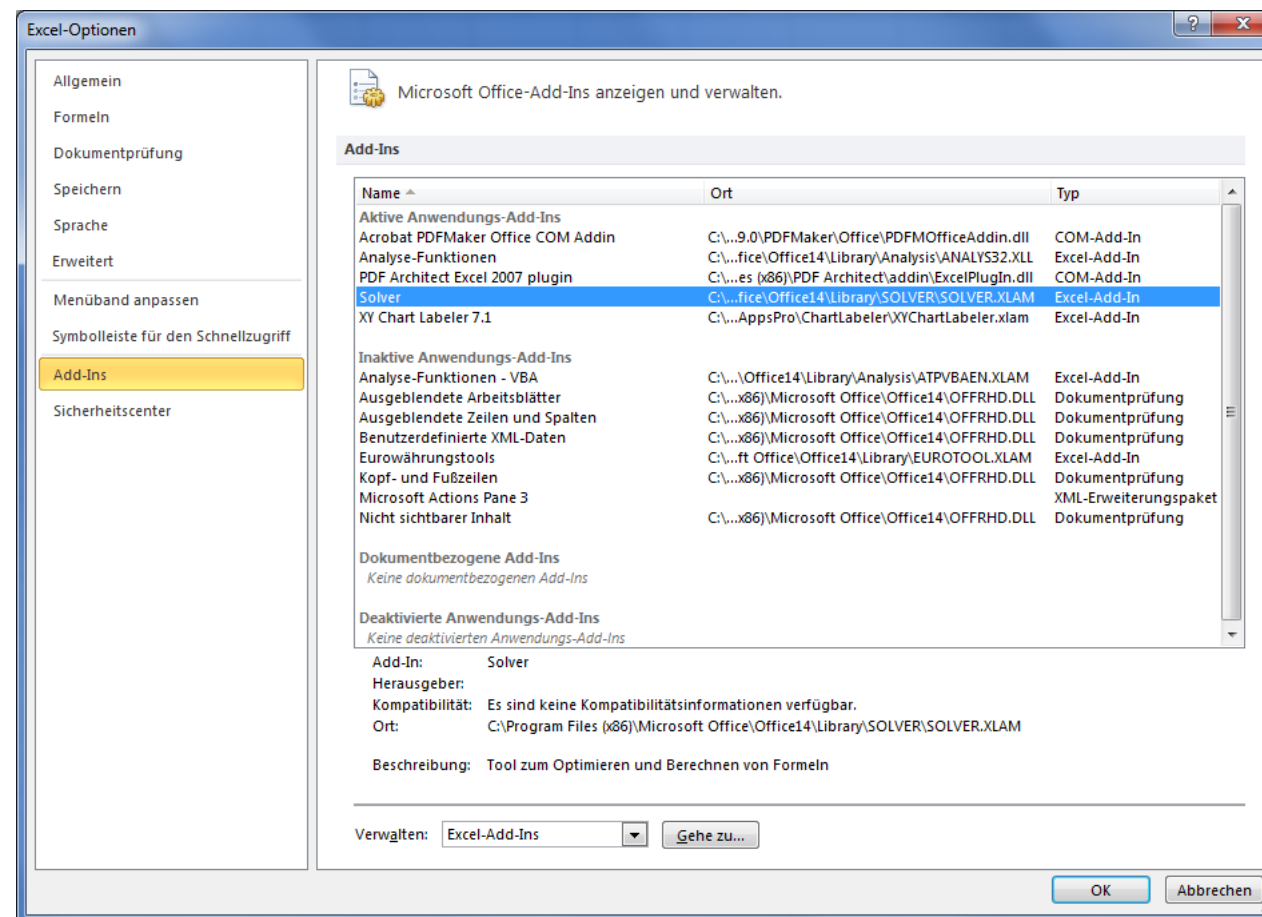
Kritikpunkte:

- keine Aussagen bezüglich Lagerhaltung (nur für 1 Periode!)
- konstante DB unterstellt (keine Rabatte o.ä.)
- Umstell- und Rüstkosten bzw. Losgrößen unberücksichtigt
- Praktische Umsetzung nur auf Ebene der **aggregierten Planung** sinnvoll (Produktgruppen bzw. –familien und Engpassressourcen)

Programmplanung

MS Excel – Solver aktivieren

Datei –
Optionen – Add-
Ins



Programmplanung

MS Excel – Solver aufrufen

Daten –
Solver

The screenshot shows the 'Solver-Parameter' dialog box in MS Excel. The 'Ziel festlegen:' field contains 'SA\$1'. The 'Bis:' section has 'Max.' selected. The 'Durch Ändern von Variablenzellen:' field is empty. The 'Unterliegt den Nebenbedingungen:' list is empty, with buttons for 'Hinzufügen', 'Ändern', 'Löschen', 'Alles zurücksetzen', and 'Laden/Speichern' to the right. The checkbox 'Nicht eingeschränkte Variablen als nicht-negativ festlegen' is checked. The 'Lösungsmethode auswählen:' dropdown is set to 'Simplex-LP'. A 'Hilfe' button is at the bottom left, and 'Lösen' and 'Schließen' buttons are at the bottom right. A text box at the bottom explains the solution methods: 'Wählen Sie das GRG-Nichtlinear-Modul für Solver-Probleme, die kontinuierlich nichtlinear sind. Wählen Sie das LP Simplex-Modul für lineare Solver-Probleme und das EA-Modul für Solver-Probleme, die nicht kontinuierlich sind.'

Programmplanung

MS Excel – Solver Parameter

- Wert der Zielfunktion
- min/max
- veränderbare Zellen = Produktionsmengen
- Nebenbedingungen
- Lösungsmethode und Optionen

Programmplanung

MS Excel – Modell für Beispiel

Lineare Optimierung - Beispiel Grundmodell			
	Sommerreifen	Winterreifen	GESAMT
Produktionsmengen in 1000 Stk.	0	0	
DB je 1000 Stück	17000	15000	
DB gesamt	0	0	0
Nebenbedingungen:			
Mindestproduktion			
Mindestproduktionsmengen in 1000 Stk.	300	180	
Kapazitätsrestriktionen			
	Kapazitätsbedarf je 1000 Stk.		
Vulkanisieranlage	20	23,5	
Montage/Profil	35	25	
Qualitätssicherung	7,5	15	
	Kapazitätsbedarf f. Produktionsprogramm		GESAMT
Vulkanisieranlage	0	0	0
Montage/Profil	0	0	0
Qualitätssicherung	0	0	0
			Kapazitätsangebot
Vulkanisieranlage			18800
Montage/Profil			28000
Qualitätssicherung			9900

Programmplanung

MS Excel – Solver für Beispiel

The screenshot shows the 'Solver-Parameter' dialog box in MS Excel. The 'Ziel festlegen:' field is set to '\$D\$6'. The 'Bis:' section has 'Max.' selected. The 'Durch Ändern von Variablenzellen:' field is set to '\$B\$4:\$C\$4'. The 'Unterliegt den Nebenbedingungen:' list contains two constraints: '\$B\$4:\$C\$4 >= \$B\$11:\$C\$11' and '\$D\$20:\$D\$22 <= \$E\$20:\$E\$22'. The 'Nicht eingeschränkte Variablen als nicht-negativ festlegen' checkbox is checked. The 'Lösungsmethode auswählen:' dropdown is set to 'Simplex-LP'. The 'Hilfe', 'Lösen', and 'Schließen' buttons are at the bottom.

Solver-Parameter

Ziel festlegen:

Bis: ☒ Max. ☐ Min. ☐ Wert:

Durch Ändern von Variablenzellen:

Unterliegt den Nebenbedingungen:

\$B\$4:\$C\$4 >= \$B\$11:\$C\$11
\$D\$20:\$D\$22 <= \$E\$20:\$E\$22

☒ Nicht eingeschränkte Variablen als nicht-negativ festlegen

Lösungsmethode auswählen:

Lösungsmethode

Wählen Sie das GRG-Nichtlinear-Modul für Solver-Probleme, die kontinuierlich nichtlinear sind. Wählen Sie das LP Simplex-Modul für lineare Solver-Probleme und das EA-Modul für Solver-Probleme, die nicht kontinuierlich sind.

Hilfe Lösen Schließen

Programmplanung

optimale Lösung für Beispiel

Lineare Optimierung - Beispiel Grundmodell			
	Sommerreifen	Winterreifen	GESAMT
Produktionsmengen in 1000 Stk.	582,946	303,876	
DB je 1000 Stück	17.000,00	15.000,00	
DB gesamt	9.910.077,52	4.558.139,53	14.468.217
Nebenbedingungen:			
Mindestproduktion			
Mindestproduktionmengen in 1000 Stk.	300	180	
Kapazitätsrestriktionen			
	Kapazitätsbedarf je 1000 Stk.		
Vulkanisieranlage	20	23,5	
Montage/Profil	35	25	
Qualitätssicherung	7,5	15	
	Kapazitätsbedarf f. Produktionsprogramm		
		GESAMT	Kapazitätsangebot
Vulkanisieranlage	11.659	7.141	18.800
Montage/Profil	20.403	7.597	28.000
Qualitätssicherung	4.372	4.558	8.930

Programmplanung

MILP-Example with python-mip - Installation

PYTHON-MIP

/medien & digitale
technologien



<https://www.python-mip.com/index.html#the-package>

- Go to Anaconda.Navigators
- Open Environments Tab
- Select your Installation “Python 37”
- Press play and open terminal
- Enter --> “pip install mip”

Programmplanung

MILP-Example with python-mip - Installation

PYTHON-MIP

medien & digitale
technologien



Optimize

```
In [10]: 1 m.optimize()
```

```
Out[10]: <OptimizationStatus.OPTIMAL: 0>
```

Print Solution values

```
In [9]: 1 #print solution values:
        2 print(["{}= {:.2f}".format(X[i].name, X[i].x) for i in N])
        3 print('optimal solution cost {:.2f} found'.format(m.objective_value))
```

```
['Winter= 303.88', 'Summer= 582.95']
optimal solution cost 14468217.05 found
```

Programmplanung

Abschätzung Mehr-Produkt Problem

- Annahmen:
 - Mehrere Produkte mit Ober- und Untergrenzen für Absatz
 - Mehrere Ressourcen
 - Produktionsprogramm = Absatzprogramm
- Abschätzung des Engpasses (z.B. über Kapazitätsverbrauch bei Absatzobergrenze)
- Berechnung DB/Engpasseinheit (Reihung der Produkte)
- Berechnung Restkapazität (am Engpass) wenn Absatzuntergrenze für alle Produkte eingehalten
- Verwenden der Restkapazität für „beste Produkte“

Programmplanung

Mehrperiodische Programmplanung - Erweiterungen

/medien & digitale
technologien



- Produktionsmenge \neq Absatzmenge
- Produktions- und Absatzmengen über mehrere Perioden
- Lagerbestände
- Produktionsmenge \leq Absatzmenge nicht mehr je Periode
- ev. erweiterbare Kapazitäten (Überstunden)

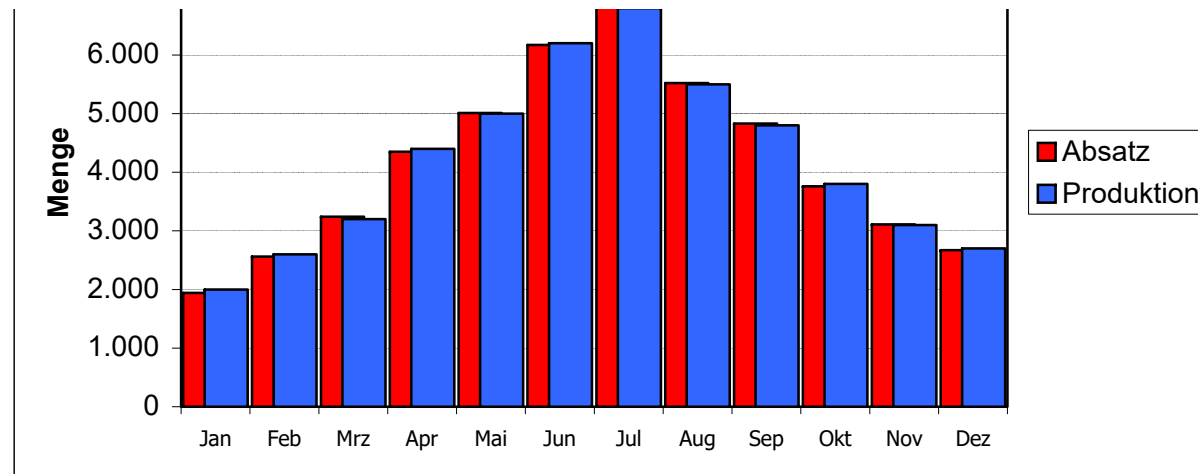
Erweiterung Zielfunktion um:

- Lagerkosten
- Überstundenkosten

Programmplanung

Synchronisation – Kapazitätsanpassung

Kosten für Kapazitätsanpassung



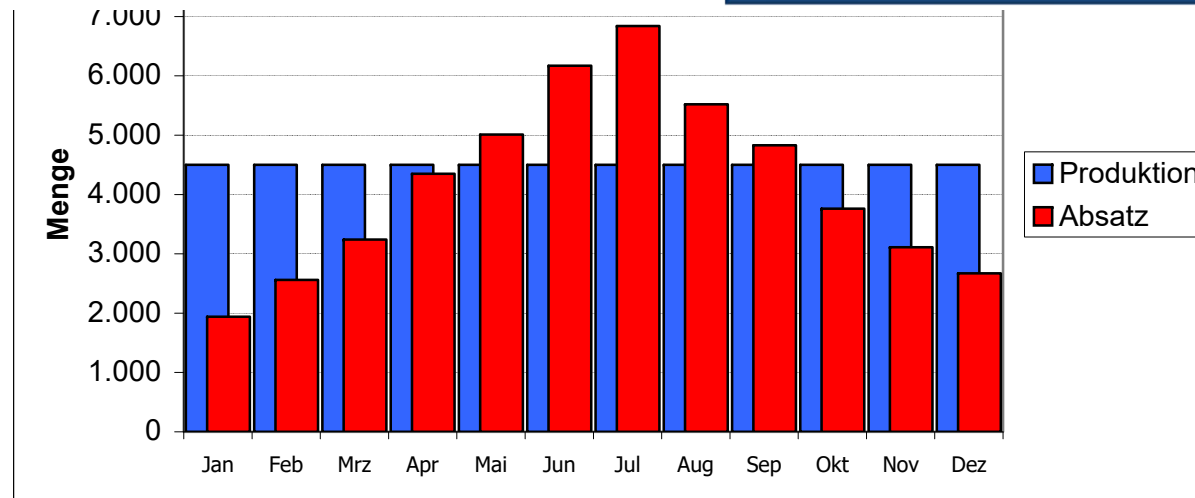
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Absatz	1.940	2.560	3.240	4.350	5.010	6.170	6.840	5.520	4.830	3.760	3.110	2.670
Produktion	2.000	2.600	3.200	4.400	5.000	6.200	6.800	5.500	4.800	3.800	3.100	2.700
Lager	60	100	60	110	100	130	90	70	40	80	70	100

Vorteil: keine Lagerhaltung
Nachteile: unausgeglichene Ressourcenbeanspruchung,
 Absatzspitzen müssen bewältigt werden können

Programmplanung

Emanzipation – Vorproduktion auf Lager

Kosten für Lagerhaltung



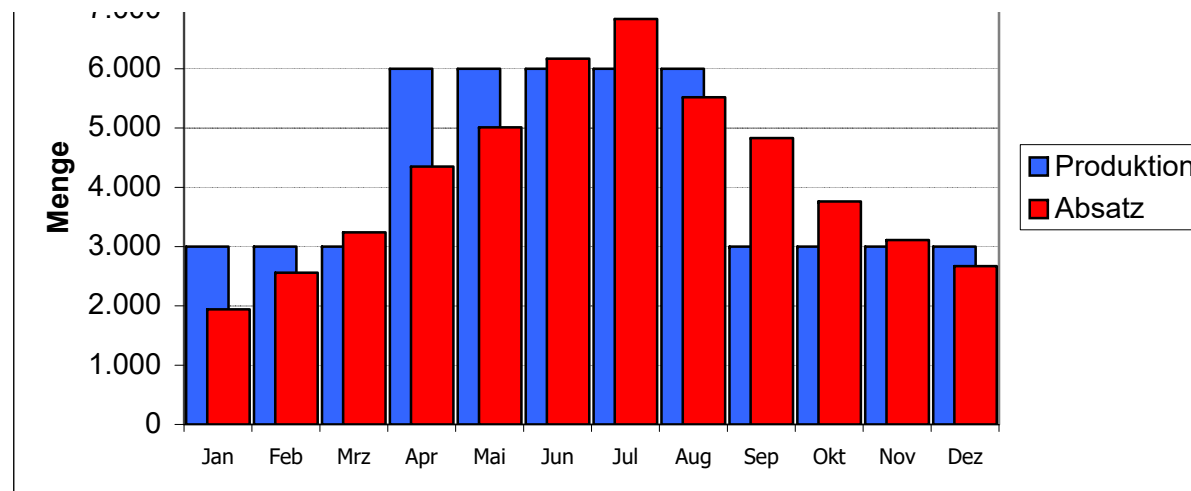
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Absatz	1.940	2.560	3.240	4.350	5.010	6.170	6.840	5.520	4.830	3.760	3.110	2.670
Produktion	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500
Lager	2.560	4.500	5.760	5.910	5.400	3.730	1.390	370	40	780	2.170	4.000

Vorteil: gleichmäßige Ressourcenbeanspruchung

Nachteile: hohe Lagermengen und –kosten
hohes Prognoserisiko

Programmplanung

Zeitstufenprinzip



	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Absatz	1.940	2.560	3.240	4.350	5.010	6.170	6.840	5.520	4.830	3.760	3.110	2.670
Produktion	3.000	3.000	3.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Lager	1.060	1.500	1.260	2.910	3.900	3.730	2.890	3.370	1.540	780	670	1.000

Vorteile: gleichmäßigere Ressourcenbeanspruchung
geringere Lagerhaltung

Nachteil: hoher Planungsaufwand

Programmplanung

Modellerweiterung: Tires Inc.

Das Unternehmen Tires Inc. produziert Sommer- und Winterreifen. Es beliefert sowohl Automobilhersteller als auch den Fachhandel. Mit einem Automobilhersteller gibt es eine langfristige Liefervereinbarung über 180.000 Winterreifen und 300.000 Sommerreifen (pro Jahr).

Die Produktion erfolgt in den folgenden drei Bereichen mit den angeführten Kapazitätsangeboten (pro J.):

Vulkanisieranlage: 18.800 h, Montage/Profil: 28.000 h, Qualitätssicherung: 9.900 h

Für die Produktion von 1000 Winterreifen benötigt man an der Vulkanisieranlage 23,5 Stunden, in der Abteilung Montage/Profil 25 h und in der Qualitätssicherung 15 h. 1000 Sommerreifen verbrauchen 20 h Kapazität an der Vulkanisieranlage, 35 h in der Abteilung Montage/Profil und 7,5 h in der Qualitätssicherung.

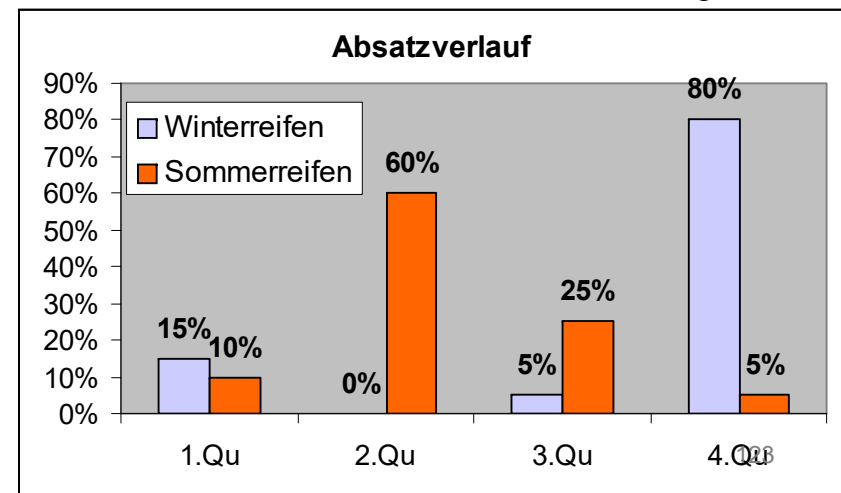
Der DB je 1000 Stück beträgt bei den Sommerreifen 17.000 € und bei den Winterreifen 15.000 €.

Das Kapazitätsangebot kann in jedem Segment durch Überstunden erweitert werden. Die Überstunden dürfen allerdings 20% der Grundkapazität nicht übersteigen!

Für die Kapazitätsanpassung fallen Überstundenkosten an. Diese betragen 150 € in der Vulkanisieranlage, 200 € im Segment Montage/Profil und 100 € in der Qualitätssicherung. Es können allerdings maximal 20% der Grundkapazität je Segment und Quartal als ÜST eingeplant werden.

Die Lagerung eines Winterreifens kostet 0,75 € je Quartal, eines Sommerreifens 0,85 € je Quartal.

Der Absatzverlauf ist stark saisonal bedingt und in der Grafik (siehe %) dargestellt.



Programmplanung

Modellerweiterung

Zielfunktion: (Zielgröße = Deckungsbeitrag)

$$15.000 W + 17.000 S = DB \Rightarrow \max!$$

Nebenbedingungen: (Restriktionen)

$$\text{Vulkanisieranlage: } 23,5 W + 20 S \leq 18.800$$

$$\text{Montage/Profil: } 25 W + 35 S \leq 28.000$$

$$\text{Qualitätssicherung: } 15 W + 7,5 S \leq 9.900$$

$$\text{Mindestproduktion W: } W \geq 180$$

$$\text{Mindestproduktion S: } S \geq 300$$

$$\text{Nichtnegativitätsbedingung: } W, S \geq 0$$

- Überstundenkosten - Lagerkosten
Für jedes Quartal

+ Überstunden (begrenzt ?)
Für jedes Quartal

Lagerbestandsgleichungen: $I_t = I_{t-1} + Pr_t - Ab_t$ (für beide Produkte; je Quartal)

Absatz_t ≠ Produktion_t

Programmplanung

Modellformulierung - ZF

Zielfunktion: (Zielgröße = Deckungsbeitrag)

$$\begin{aligned}
 & 15 * (AW1+AW2+AW3+AW4) \\
 & + 17 * (AS1+AS2+AS3+AS4) \\
 & - 150 * (UV1+UV2+UV3+UV4) \\
 & - 200 * (UM1+UM2+UM3+UM4) \\
 & - 100 * (UQ1+UQ2+UQ3+UQ4) \\
 & - 0,75 * (LW1+LW2+LW3+LW4) \\
 & - 0,85 * (LS1+LS2+LS3+LS4)
 \end{aligned}
 \begin{array}{l}
 \} \text{ Deckungsbeitrag} \\
 \\
 \} \text{ Überstundenkosten} \\
 \\
 \} \text{ Lagerkosten}
 \end{array}$$

Indizes

i... Produktindex (S,W)

t... Periodenindex (1,...,4)

p.. Produktionssegment (V,M,Q)

Konstanten

DB_i... DB je Produkt i

KU_p... Überstundenkosten
je Produktionssegment p
(in jeder Periode gleich)

KL_i... Lagerkosten je Produkt i
(in jeder Periode gleich)

Variablen

a_{i,t}... Absatzmenge des Produkts i
in der Periode t

u_{p,t}... Überstunden im Segment p
in der Periode t

I_{i,t}... Lagermenge von Produkt i
in der Periode t

Programmplanung

Modellformulierung NEU - Zielfunktion

medien & digitale
technologien



Zielfunktion (allgemein)

Zielgröße = Deckungsbeitrag

$$\sum_{i \in I} \sum_{t=1}^T DB_i \cdot a_{i,t} - \sum_{p \in P} \sum_{t=1}^T KU_p \cdot u_{p,t} - \sum_{i \in I} \sum_{t=1}^T KL_i \cdot l_{i,t} \Rightarrow \max!$$

Programmplanung

Modellformulierung NEU – Nebenbedingungen 1

medien & digitale
technologien



Kapazitätsbeschränkungen:

$$0,0235 \text{ PW1} + 0,02 \text{ PS1} \leq 4700 + \text{UV1}$$

$$0,0235 \text{ PW2} + 0,02 \text{ PS2} \leq 4700 + \text{UV2}$$

$$0,0235 \text{ PW3} + 0,02 \text{ PS3} \leq 4700 + \text{UV3}$$

$$0,0235 \text{ PW4} + 0,02 \text{ PS4} \leq 4700 + \text{UV4}$$

$$0,015 \text{ PW1} + 0,0075 \text{ PS1} \leq 2475 + \text{UQ1}$$

$$0,015 \text{ PW2} + 0,0075 \text{ PS2} \leq 2475 + \text{UQ2}$$

$$0,015 \text{ PW3} + 0,0075 \text{ PS3} \leq 2475 + \text{UQ3}$$

$$0,015 \text{ PW4} + 0,0075 \text{ PS4} \leq 2475 + \text{UQ4}$$

$$0,025 \text{ PW1} + 0,035 \text{ PS1} \leq 7000 + \text{UM1}$$

$$0,025 \text{ PW2} + 0,035 \text{ PS2} \leq 7000 + \text{UM2}$$

$$0,025 \text{ PW3} + 0,035 \text{ PS3} \leq 7000 + \text{UM3}$$

$$0,025 \text{ PW4} + 0,035 \text{ PS4} \leq 7000 + \text{UM4}$$

Indizes

i... Produktindex (S,W)

t... Periodenindex (1,...,4)

p.. Produktionssegment (V,M,Q)

Konstanten

B_{i,p}... Kap.-nachfrage von Produkt i im Produktionssegment p

K_{p,t}... Grundkapazität im Produktionssegment p in der Periode t

Variablen

x_{i,t}... Produktionsmenge des Produkts i in der Periode t

u_{p,t}... Überstunden im Segment p in der Periode t

Programmplanung

Kapazitätsrestriktionen (allgemein)

/medien & digitale
technologien



$$\sum_{i \in I} B_{i,p} \cdot x_{i,t} \leq K_{p,t} + u_{p,t} \quad \forall t = 1, \dots, T; p \in P$$

Programmplanung

Nebenbedingungen 2

Lagerbestandsgleichungen:

$$LW1 = LW0 + PW1 - AW1$$

$$LW2 = LW1 + PW2 - AW2$$

$$LW3 = LW2 + PW3 - AW3$$

$$LW4 = LW3 + PW4 - AW4$$

$$LS1 = LS0 + PS1 - AS1$$

$$LS2 = LS1 + PS2 - AS2$$

$$LS3 = LS2 + PS3 - AS3$$

$$LS4 = LS3 + PS4 - AS4$$

$$LW0 = 0$$

$$LS0 = 0$$

Indizes

i... Produktindex (S,W)

t... Periodenindex (1,...,4)

Variablen

$x_{i,t}$... Produktionsmenge des Produkts i in der Periode t

$l_{i,t}$... Lagermenge des Produkts i in der Periode t

$a_{i,t}$... Absatzmenge des Produkts i in der Periode t

Programmplanung

Lagerbestandsgleichungen (allgemein)

/medien & digitale
technologien



$$l_{i,0} = 0 \quad \forall i \in I \quad x_{i,t} - a_{i,t} \quad \forall t = 1, \dots, T; i \in I$$

Programmplanung

Nebenbedingungen 3

Überstundenbeschränkung:

$UV1 \leq 940$	$UM3 \leq 1400$
$UV2 \leq 940$	$UM4 \leq 1400$
$UV3 \leq 940$	
$UV4 \leq 940$	$UQ1 \leq 495$
	$UQ2 \leq 495$
$UM1 \leq 1400$	$UQ3 \leq 495$
$UM2 \leq 1400$	$UQ4 \leq 495$

Absatzbedingung 1:

$$AW1 + AW2 + AW3 + AW4 = AW$$

$$AS1 + AS2 + AS3 + AS4 = AS$$

$$AW \geq 180000$$

$$AS \geq 300000$$

Indizes

i... Produktindex (S,W)

t... Periodenindex (1,...,4)

p.. Produktionssegment (V,M,Q)

Konstanten

$MA_i...$ Mindestabsatz von Produkt i (über alle Perioden)

$K_{p,t}...$ Grundkapazität im Produktionssegment p in der Periode t

Variablen

$a_{i,t}...$ Absatzmenge des Produkts i in der Periode t

$\bar{a}_i...$ Absatzmenge des Produkts i über alle Perioden

$u_{p,t}...$ Überstunden im Segment p in der Periode t

Programmplanung

Nebenbedingungen 4

Absatzbedingung 2:

$$AW1 = 0,15 AW$$

$$AW2 = 0$$

$$AW3 = 0,05 AW$$

$$AW4 = 0,8 AW$$

$$AS1 = 0,10 AS$$

$$AS2 = 0,6 AS$$

$$AS3 = 0,25 AS$$

$$AS4 = 0,05 AS$$

Indizes

$i...$ Produktindex (S,W)

$t...$ Periodenindex (1,...,4)

Konstanten

$\alpha_{i,t}...$ Verteilung des Gesamtabsatzes von Produkt i auf die Perioden t

Variablen

$a_{i,t}...$ Absatzmenge des Produkts i in der Periode t

$\bar{a}_i...$ Absatzmenge des Produkts i über alle Perioden

$x_{i,t}...$ Produktionsmenge des Produkts i in der Periode t

Nicht-Negativitätsbedingungen

Programmplanung

Nichtnegativitätsbedingungen (allgemein)

$$x_{i,t} \geq 0 \quad \forall t = 1, \dots, T; i \in I$$

$$l_{i,t} \geq 0 \quad \forall t = 1, \dots, T; i \in I$$

$$u_{p,t} \geq 0 \quad \forall t = 1, \dots, T; p \in P$$

Programmplanung

Lineare Optimierung Zusammenfassung

Voraussetzungen für lineare Optimierung:

Linearität

Zusammenhänge müssen linear sein:
z. B. Rohstoffverbrauch, Kapazitätsbedarf etc.

Kontinuität

Variablen müssen kontinuierlich sein,
d.h. keine Ganzzahligkeit, Ergebnis muss ev. gerundet werden

Lösung von linearen Problemen:

- Grafisch (bei 2 Variablen)
- Excel-Solver
- Optimierungsprogramm, z.B. Lindo (Simplex)

Programmplanung

Modellimplementierung in Excel – Angabe und ZF

	Kapazitätsbedarfe		Üstd. K
	WR	SR	
V	23,5	20,0	150
M	25,0	35,0	200
Q	15,0	7,5	100

db	15.000	17.000	
LK p.Qu.	750	850	(je TS)

Zielfunktion:

DB	=Absatz*db
- LK	=Lager-EB*LK
- ÜK	=Üst*Üstd.K
Erlös	=DB-LK-ÜK

Programmplanung

Modellimplementierung in Excel - Produkte

1. Quartal	2. Quartal	3. Quartal	4. Quartal	gesamt
------------	------------	------------	------------	--------

(Mengen in TS)

Variable
Angabe

Winterreifen

Abs.verlauf		15%	0%	5%	80%	Mind.
Absatz		-	-	-	-	180
Produktion						
Lager-EB	0	=Abs.verlauf * Summe				
LK						
		=EB(Vorperiode)+Produktion-Absatz				
		=Lager-EB*LKp.Qu.				

analog für Sommerreifen

Programmplanung

Modellimplementierung in Excel - Kapazitäten

Vulkanisieranlage

KN		=Prod.WR*Kap.bedarf+Prod.SR*Kap.bedarf				
KA		4.700	4.700	4.700	4.700	18.800
Üst						
KA ges.		4.700	4.700	4.700	4.700	
Üst max		940	940	940	940	20%
Üst Kosten		=Üst*Üst.K				-

Variable

Angabe

=Jahreskapazität/4

analog für Montage/Profil und Qualitätssicherung

Programmplanung

Excel-Solver

The screenshot shows the 'Solver-Parameter' dialog box in Excel. The following elements are annotated with red text and arrows:

- Ziel festlegen:** The target cell is '\$M\$20', annotated with 'DB' (Deckungsbeitrag).
- Bis:** The 'Max.' radio button is selected.
- Durch Ändern von Variablenzellen:** The variable cells are '\$D\$6:\$G\$6;\$H\$5;\$D\$12:\$G\$12;\$H\$11;\$D\$18:\$G\$18;\$D\$25:\$G\$25;\$D\$32:\$G\$32', annotated with 'Prod.mengen Absatz gesamt Überstunden'.
- Unterliegt den Nebenbedingungen:** A list of constraints is shown:
 - '\$D\$13:\$G\$13 >= 0' is annotated with 'LB ≥ 0'.
 - '\$D\$16:\$G\$16 <= \$D\$19:\$G\$19' is annotated with 'KN ≤ KA ges.'.
 - '\$D\$18:\$G\$18 <= \$D\$20:\$G\$20' is annotated with 'KN ≤ KA ges.'.
 - '\$D\$23:\$G\$23 <= \$D\$26:\$G\$26' is annotated with 'KN ≤ KA ges.'.
 - '\$D\$25:\$G\$25 <= \$D\$27:\$G\$27' is annotated with 'KN ≤ KA ges.'.
 - '\$D\$30:\$G\$30 <= \$D\$33:\$G\$33' is annotated with 'KN ≤ KA ges.'.
 - '\$D\$32:\$G\$32 <= \$D\$34:\$G\$34' is annotated with 'Üst. ≤ Üst max'.
 - '\$D\$7:\$G\$7 >= 0' is annotated with 'Üst. ≤ Üst max'.
 - '\$H\$11 >= \$I\$11' is annotated with 'Abs. ≥ Mind.'.
 - '\$H\$5 >= \$I\$5' is annotated with 'Abs. ≥ Mind.'.
- Buttons:** 'Hinzufügen', 'Ändern', 'Löschen', 'Alles zurücksetzen', 'Laden/Speichern', 'Optionen', 'Hilfe', 'Lösen' (circled in red), and 'Schließen'.
- Options:** 'Nicht eingeschränkte Variablen als nicht-negativ festlegen' is checked. The 'Lösungsmethode' is set to 'Simplex-LP'.

Programmplanung

Lösung

medien & digitale
technologien



Winterreifen

Abs.verlauf		15%	0%	5%	80%	Mind.
Absatz		51	-	17	270	338
Produktion		51	-	105	182	
Lager-EB	0	-	-	88	-	
LK		-	-	66.159	-	66.159

Sommerreifen

Abs.verlauf		10%	60%	25%	5%	
Absatz		63	380	158	32	634
Produktion		204	240	158	32	
Lager-EB	0	140	-	-	0	
LK		119.333	-	-	0	119.333

Vulkanisieranlage

KN		5.267	4.800	5.640	4.915	
KA		4.700	4.700	4.700	4.700	18.800
Üst		567	100	940	215	
KA ges.		5.267	4.800	5.640	4.915	
Üst max		940	940	940	940	20%
Üst Kosten		85.065	15.000	141.000	32.178	273.243

Montage/Profil

KN		8.400	8.400	8.175	5.663	
KA		7.000	7.000	7.000	7.000	28.000
Üst		1.400	1.400	1.175	-	
KA ges.		8.400	8.400	8.175	7.000	
Üst max		1.400	1.400	1.400	1.400	20%
Üst Kosten		280.000	280.000	235.023	-	795.023

Qualitätssicherung

KN		2.289	1.800	2.765	2.970	
KA		2.475	2.475	2.475	2.475	9.900
Üst		-	-	290	495	
KA ges.		2.475	2.475	2.765	2.970	
Üst max		495	495	495	495	20%
Üst Kosten		29.036	49.500	78.536		

**Excel-Solver-
Ergebnis**

$$DB = 338 \cdot 15000 + 634 \cdot 17000$$

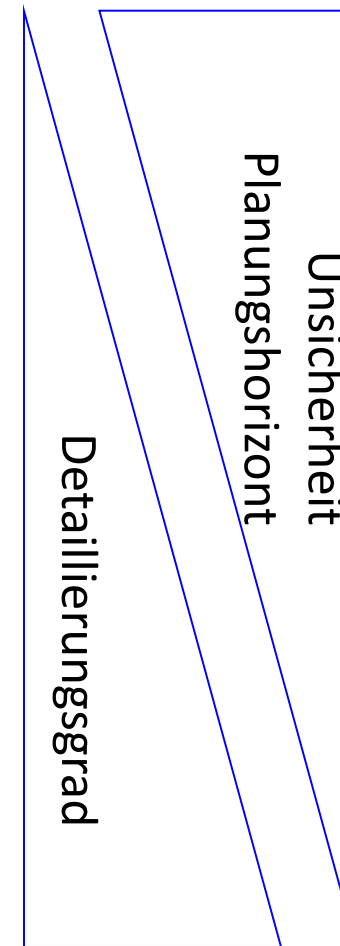
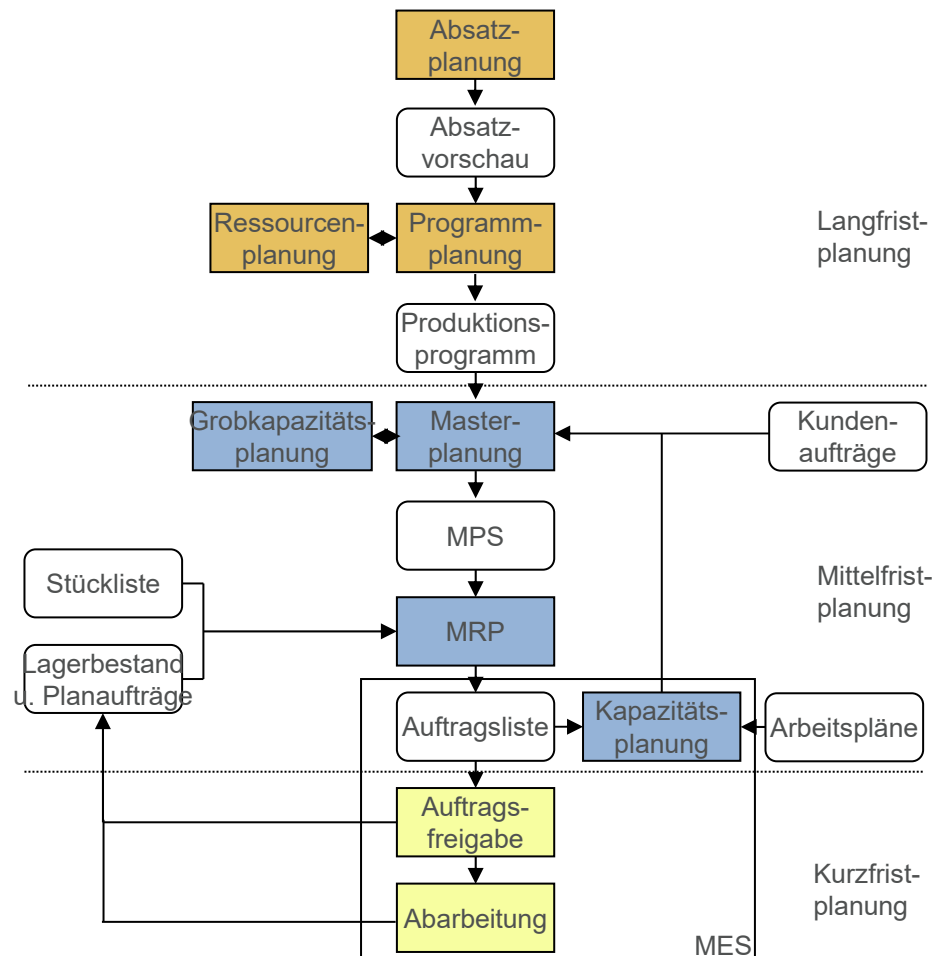
Zielfunktion:

DB	15.847.062
- LK	185.492
- ÜK	1.146.802
Erlös	14.514.768

BEDARFSANALYSE

ABC-XYZ-ANALYSE

Manufacturing Resource Planning (MRP II)

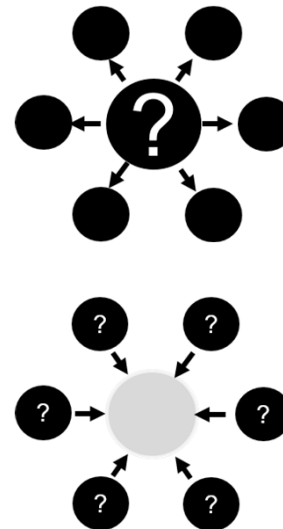


Bedarfsplanung-Einteilung 1

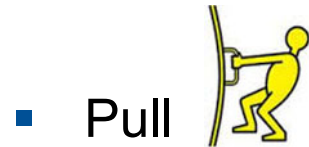
/medien & digitale
technologien



- Zentral
 - Übergeordnete Stelle plant/steuert
 - Bsp.: MRP, CONWIP, DBR
- Dezentral
 - Ausführer plant/steuert
 - Bsp.: Abarbeitungsregel, KANBAN



Bedarfsplanung-Einteilung 2



- Über Bestand wird gesteuert und Ausbringung wird beobachtet
- Bsp.: KANBAN, Meldebestandsverfahren, CONWIP

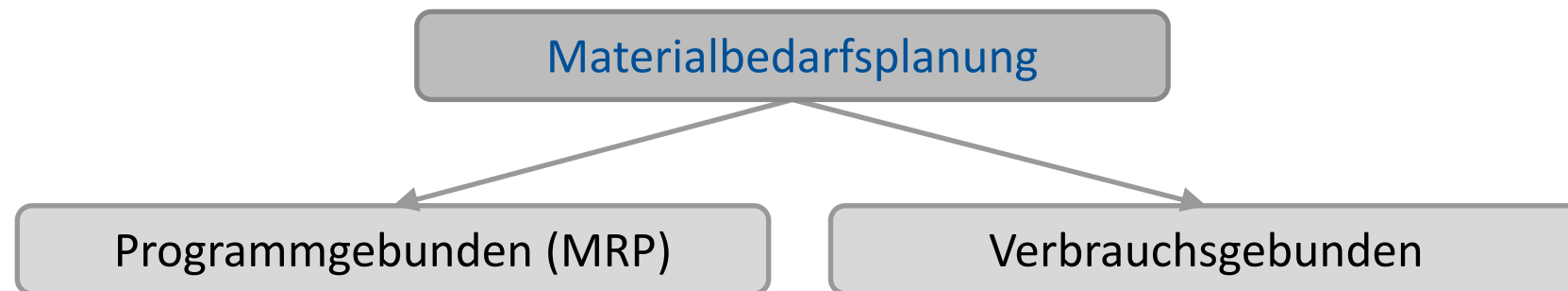


- Über Ausbringungsmenge wird gesteuert und Bestand beobachtet
- Bsp.: MRP, DBR

Bedarfsplanung-Einteilung 3

- Verbrauchsgesteuert
 - tatsächlicher Verbrauch löst Auftrag aus
 - Bsp.: KANBAN, Meldebestandsverfahren
- Programmgesteuert
 - ausgehend von Kundenbestellungen bzw. Absatzvorschau werden Aufträge eingeplant
 - MRP, CONWIP, DBR

Arten der Materialbedarfsplanung



- auftragsweise produziert
- deterministisch
- + exakte Bedarfswerte
- + niedrige Lagerbestände
- hoher Informationsbedarf
- Aufwand bei der Stücklistenpflege

→ am häufigsten: Material Requirements Planning (MRP)

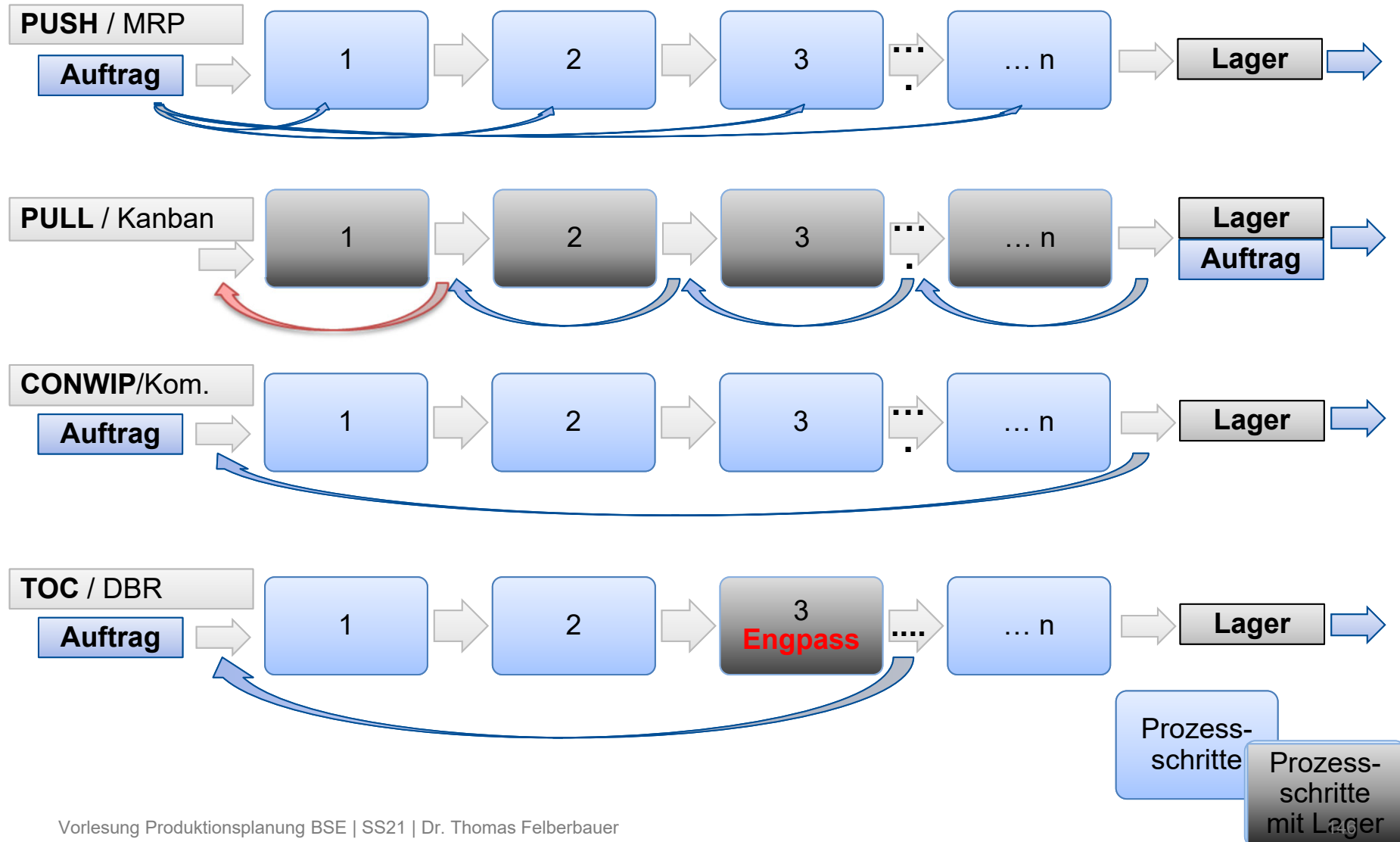
- Vergangenheitswerte
- stochastisch
- + geringer Aufwand
- + kurze Lieferzeit
- Risiko von Fehldiagnosen
- z. T. Hohe Lagerbestände

→ am häufigsten: Meldebestandsverfahren, KANBAN

Verfahren zur Produktionplanung

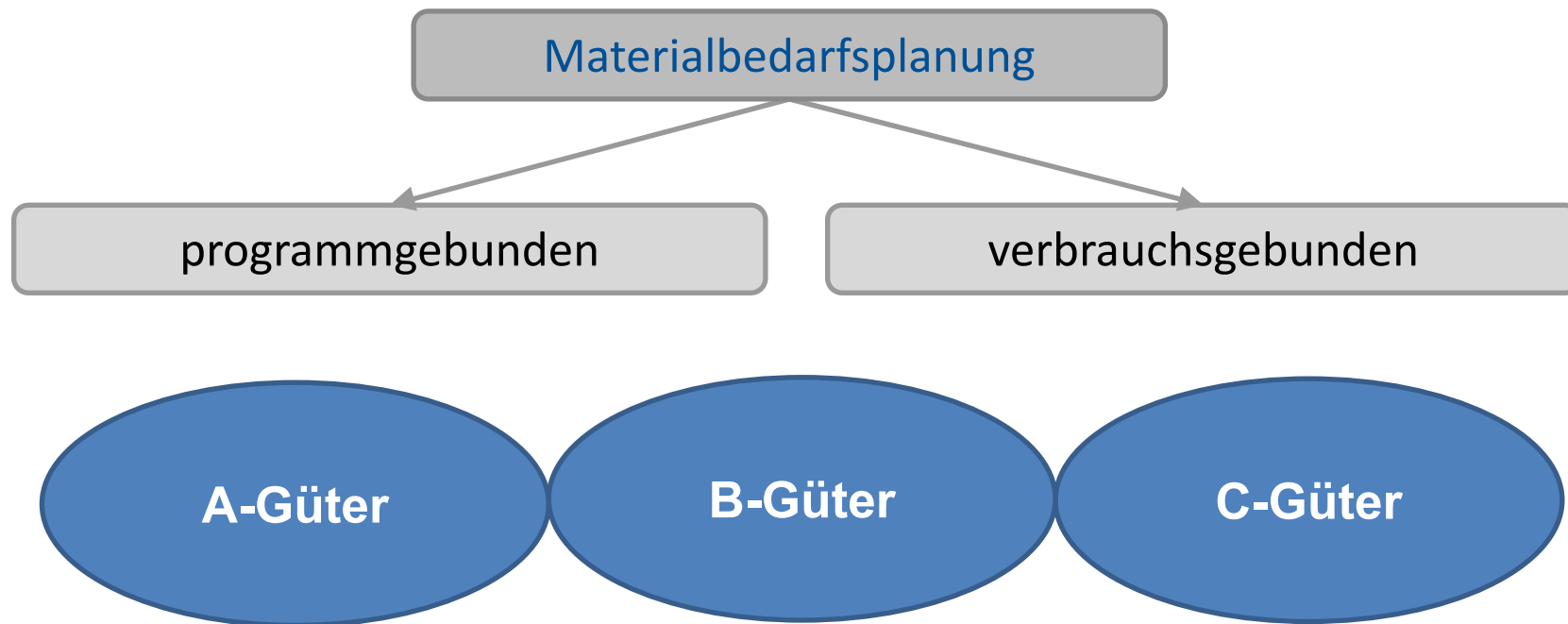
Push, Pull, Conwip, DBR/TOC - im Vergleich

medien & digitale
technologien



ABC-Analyse

Klassifizierung nach wertmäßigem Verbrauch:



ABC-XYZ ANALYSE

Quelle: Prof. Dr. Ing. Bernd Noche, ABC-XYZ Analyse Einführung, Universität Duisburg Essen, Power-Point Uta Horstmann

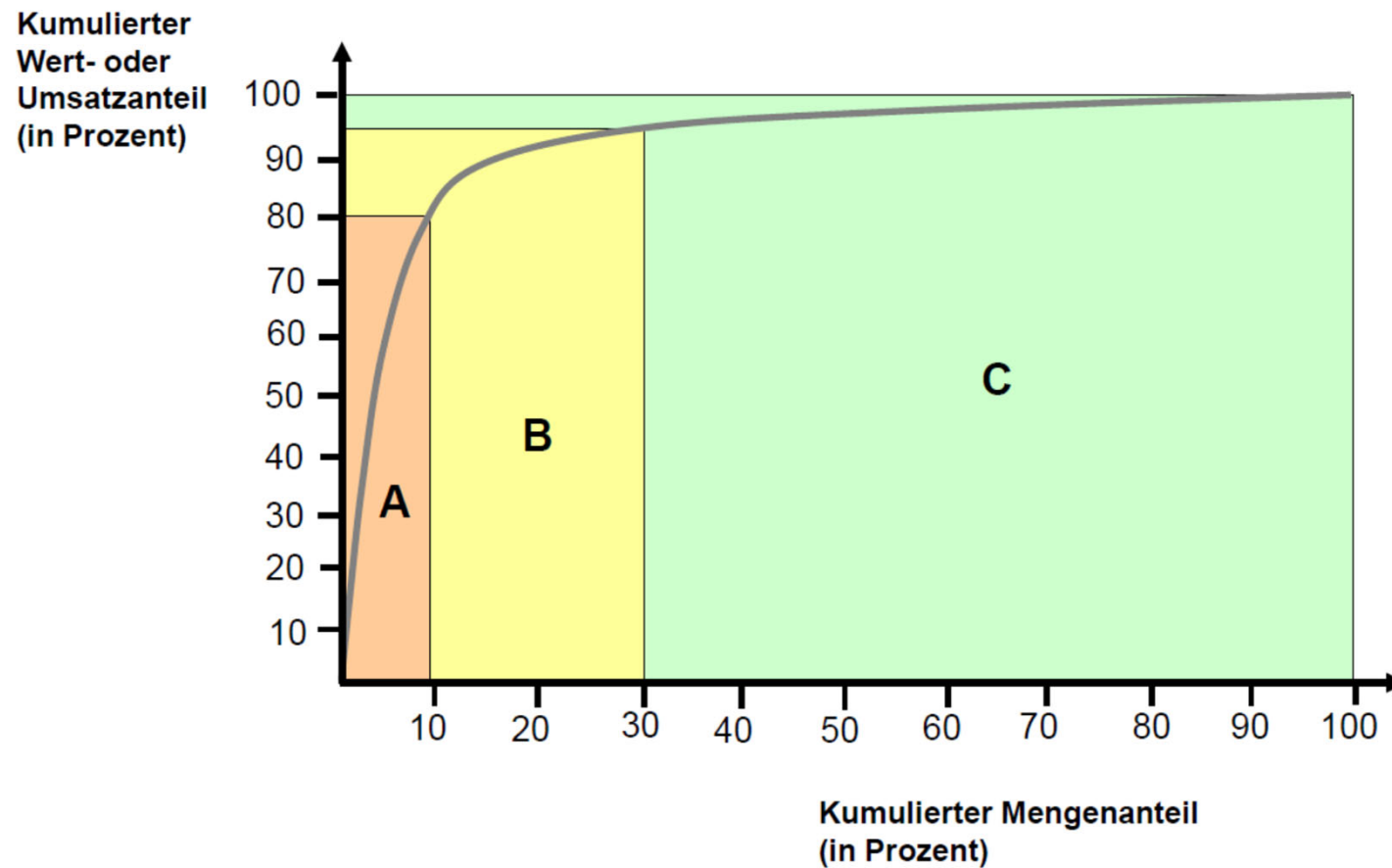
Definition

- ABC-Analyse repräsentiert eine Methode der Klassifizierung von Produkten hinsichtlich z.B. Wert oder Menge dar
- Die ABC-Analyse beschränkt sich nicht nur auf Wert und Menge von Produkten sondern kann generell zur Identifikation von wichtigen Klassen verwendet werden
- Anwendung im Produktionsbereich von H. Ford Dickie bei General Electric im Jahr 1951 „ABC Inventory Analysis Shoots for Dollars not for Pennys“
- Theorie zur Analyse gehen zurück auf Pareto und Lorenz und deren Anwendung lag im öffentlichen Bereich

Pareto-Prinzip

- Das sogenannte Pareto-Prinzip besagt, dass für viele Phänomene folgende Regel gilt. 80% der Wirkung wird von 20% der Ursachen erreicht.
- Das Prinzip wurde vom italienischen Wirtschaftswissenschaftler Pareto [1848-1923] beschrieben der feststellte das 80% der Besitztümer (Landeigentum) im Besitz von 20% der Bevölkerung waren.

ABC-Beispiel



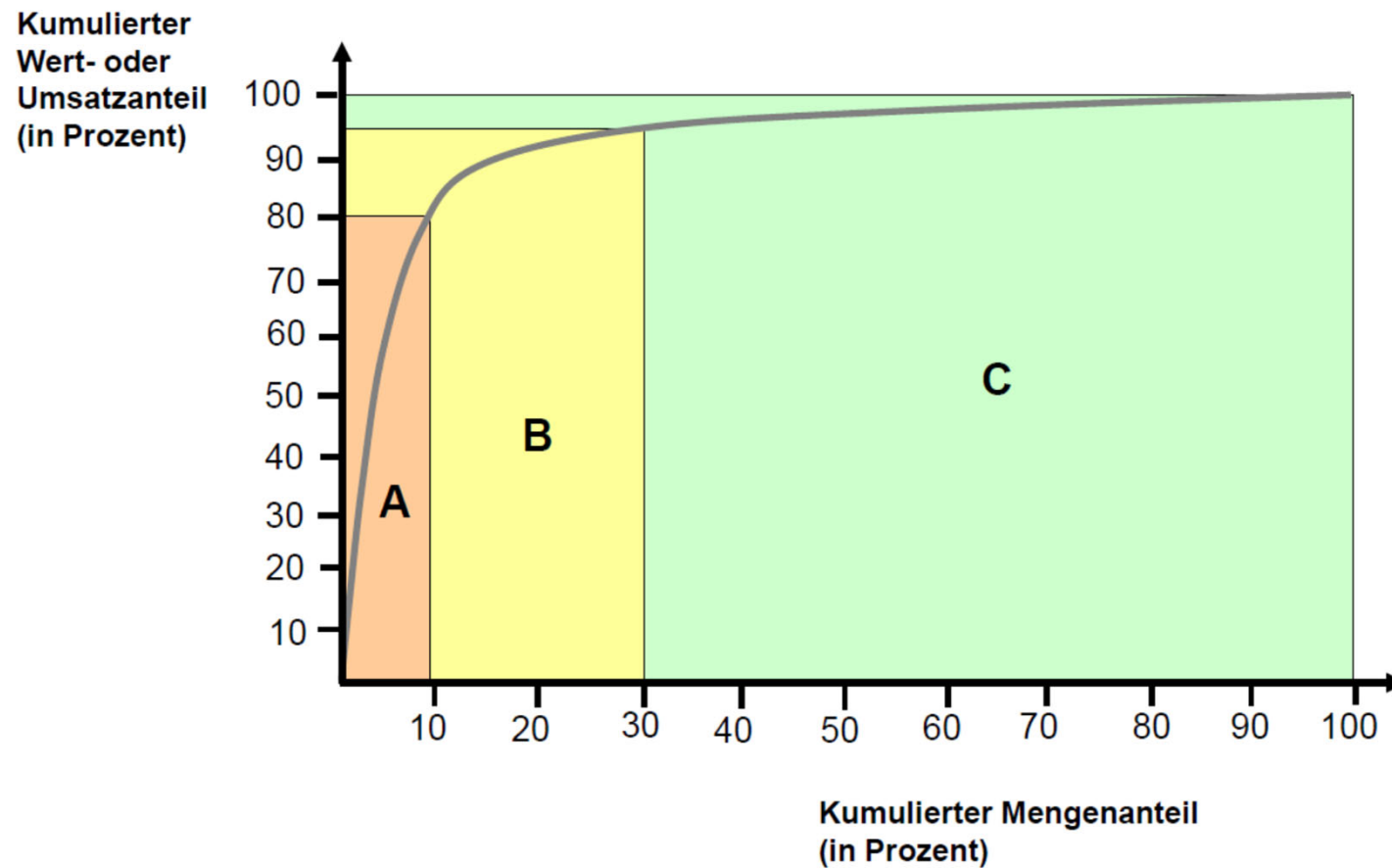
Quelle: Prof. Dr. Ing. Bernd Noche, ABC-XYZ Analyse Einführung, Universität Duisburg Essen, Power-Point Uta Horstmann

Beispiel von Aussagen basierend auf der ABC-Analyse

- 80 % des Umsatzes von Unternehmen werden meist mit 20 % der Produkte erzielt.
- 80 % des Umsatzes von Unternehmen werden oft von 20 % der Kunden (=Stammkunden) erzielt.
- 80 % der Stadtbewohner eines Landes leben in 20 % der Städte.
- 80 % der Anrufe führt man mit 20 % seiner gespeicherten Kontakte
- 95 % der nachgefragten Kapazität wird von 15% der Produkte nachgefragt
- 90% der Störungen basieren auf 5% der Störgründe
- usw.

Quelle: Wikipedia

ABC-Beispiel



Quelle: Prof. Dr. Ing. Bernd Noche, ABC-XYZ Analyse Einführung, Universität Duisburg Essen, Power-Point Uta Horstmann

ABC-Einteilung

A-Güter

- Hoher Wert- oder Umsatzanteil (z.B. 80%)
- Niedriger Mengenanteil (z.B. 10%)

B-Güter

- Wert oder Umsatzanteil (z.B. 15%)
- Mengenanteil (z.B. 20%)

C-Güter

- Niedriger Wert- oder Umsatzanteil (z.B. 5%)
- Hoher Mengenanteil (z.B. 70%)

Ziele der ABC-Analyse

- Trennung zwischen dem Wesentlichen und Unwesentlichen
- Dient zur Identifizierung von Ansatzpunkten zur Verbesserung
- Vermeidung von Verschwendungen
 - Effizientes Lagermanagement
 - Genauere und effiziente Disposition
 - Verbesserung der Verfügbarkeit
 - Reduzierung der Lagerbestände

Beispiel – Mengen zu Kosten

Material	Jahresbedarf [Stk]	Kosten [€/Stk]	¹ Gesamtkosten [€]	Relativer Beitrag zu Mengenanteil [%]	² Relativer Beitrag zu Gesamtkosten [%]	kum. Beitrag zu Mengenanteil [%]	kum. Beitrag zu Gesamtkosten [%]	Klassifizierung
1	300	10	3,000					
2	10	3000	30,000					
³ 3	90	500	45,000					
4	200	100	20,000					
5	400	5	2,000					
Summe	1,000		100,000					

Material	Jahresbedarf [Stk]	Kosten [€/Stk]	Gesamtkosten [€]	⁶ Relativer Beitrag zu Mengenanteil [%]	Relativer Beitrag zu Gesamtkosten [%]	⁷ kum. Beitrag zu Mengenanteil [%]	⁴ kum. Beitrag zu Gesamtkosten [%]	⁵ Klassifizierung
3	90	500	45,000	9%	45%	9%	45%	A
2	10	3000	30,000	1%	30%	10%	75%	A
4	200	100	20,000	20%	20%	30%	95%	B
1	300	10	3,000	30%	3%	60%	98%	C
5	400	5	2,000	40%	2%	100%	100%	C
Summe	1,000		100,000	100%	100%	100%	100%	

Vorgehen ABC-Analyse

1. Bestimmung der absoluten Gesamtkosten
2. Bestimmung des relativen Anteils an Gesamtkosten
3. Sortierung nach relativem Beitrag zu Gesamtkosten (absteigend)
4. Kumulierung des relativen Beitrags zu Gesamtkosten
5. Zuordnung der Materialien den Kategorien A, B, C
6. Bestimmung des relativen Mengenanteils
7. Kumulierung des relativen Mengenanteils

Übung ABC-Analyse

- Öffnen von File „ABC XYZ Analyse.xlsx“
- *Selbstständige Durchführung der ABC-Analyse in MS Excel*

Anwendungsgebiete

Gebiet	Merkmal	Kennzahl
Einkauf	Material/Materialgruppe	Einkaufsvolumen
	Lieferant	Rechnungsbetrag
Vertrieb	Produkt	Umsatz
	Verkaufsorganisation	Auftragseingang
Marketing	Kunde/Kundengruppe	Umsatz
	Absatzgebiet	Umsatz
Qualitätsmanagement	Lieferant	Fehlerhafte Produkte
Lagerhaltung	Material	Zugriffshäufigkeit

Kritik an der ABC-Analyse

- Die Einteilung der Klassen ist nur sehr grob
- Die Festlegung der Grenzwerte ist subjektiv
- Die ABC-Analyse bietet nur ein Bild der aktuellen IST-Situation

Zusammenfassung ABC Analyse

- Methode zur Klassifizierung von Merkmalwerten in Hinsicht auf die Wichtigkeit bei bestimmter Kennzahlen
- Es erfolgt eine Dreiteilung der Materialien
 - Wichtig
 - Weniger wichtig
 - Relative unwichtig
- Vorteile
 - Einfache Anwendbarkeit
 - Analyse von komplexen Problemen durch einfache Methode
 - Übersichtliche und grafische Darstellung der Ergebnisse

Maßnahmen für A-Güter

Disposition	Bestandsvermeidende Lagerhaltung Exakte Festlegung von (niedrigen) Sicherheitsbeständen Auftragsbezogene statt verbrauchsbezogene Bewirtschaftung bei Wertanteilen Verbrauchsbezogene Bewirtschaftung bei hohen Umsatzanteilen
Bestellabwicklung	Intensive Preisverhandlungen Qualifizierung alternativer Lieferanten Schneller Rechnungsdurchlauf um Skonto Fristen zu sichern
Inventur	Permanente Inventur

Unterschiedliche Behandlungsweisen

	A-Teil	C-Teil
Beschaffung	Global Sourcing	E-procurement
Wertanalyse	Unbedingt	Nicht notwendig
Bedarfsermittlung	Deterministisch	Stochastisch
Inventur	Permanent	1x im Jahr
Sicherheitsbestand	Klein	Groß
Bestellzyklus	hoch → JIT	größere Zyklen

XYZ-ANALYSE

XYZ-Analyse

- Methode um Materialien bzgl. Verbrauchsregelmäßigkeit einzuteilen
- Analyse der Kundenbestellungen
- Es werden Verbrauchsdaten der Vergangenheit analysiert
- Auch als RSU-Analyse bekannt
 - R – regelmäßig, S – saisonal / trendförmig, U – unregelmäßig
- Der Variationskoeffizient dient als Maßzahl zur Klassifizierung
- Für die Berechnung des Variationskoeffizienten müssen vorher Mittelwert und die Standardabweichung berechnet werden

Mittelwert

- Messwerte

$$x_1, x_2, \dots, x_n$$

- **Lageparameter**

- Arithmetisches Mittel: (Skalenniveau: metrisch)

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Mittelwert Übung

- Übung Lageparameter: Arithmetisches Mittel Berechnungsmethoden
 - ÜbungMittelwert.xlsx

Varianz / Standardabweichung

- **Streuparameter**
 - Varianz: mittlere quadratische Abweichung vom
 - Mittelwert (Skalenniveau: numerisch)

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{\mu})^2$$

Standardabweichung / Variationskoeffizient

- **Streuparameter**
- Standardabweichung: Wurzel aus Varianz (Skalenniveau: numerisch)

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{\mu})^2}$$

- Variationskoeffizient: Maß für relative Streuung (Skalenniveau: numerisch)

$$v_x = \frac{\sigma_x}{\hat{\mu}}$$

Klasseneinteilung lt. Variationskoeffizient

- X-Klasse: 0.00 - 0.25
- Y-Klasse: 0.25 - 0.50
- Z-Klassen: > 0.50

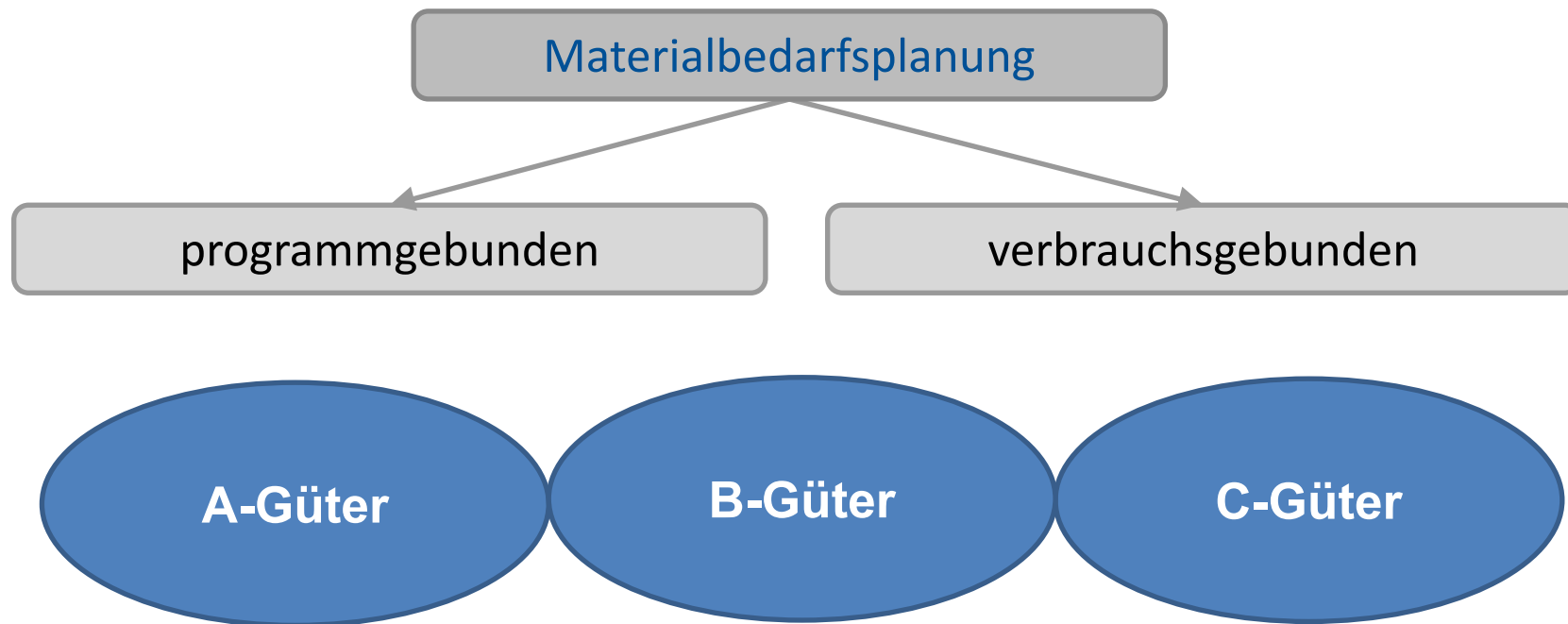
Übung XYZ-Analyse

- Öffnen von File „ABC XYZ Analyse.xlsx“
- *Berechnen der Variationskoeffizienten der Materialien basierenden auf den Verbrauchsmengen je Woche und anschließende XYZ Klassifizierung*

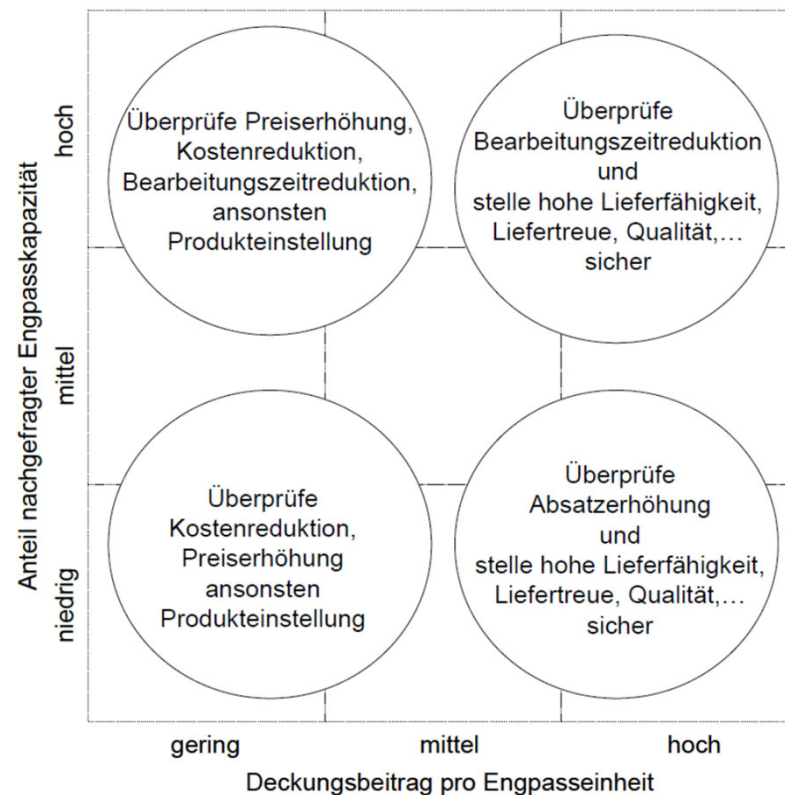
ABC XYZ ANALYSE UND PRODUKTIONSPLANUNG

ABC-Analyse

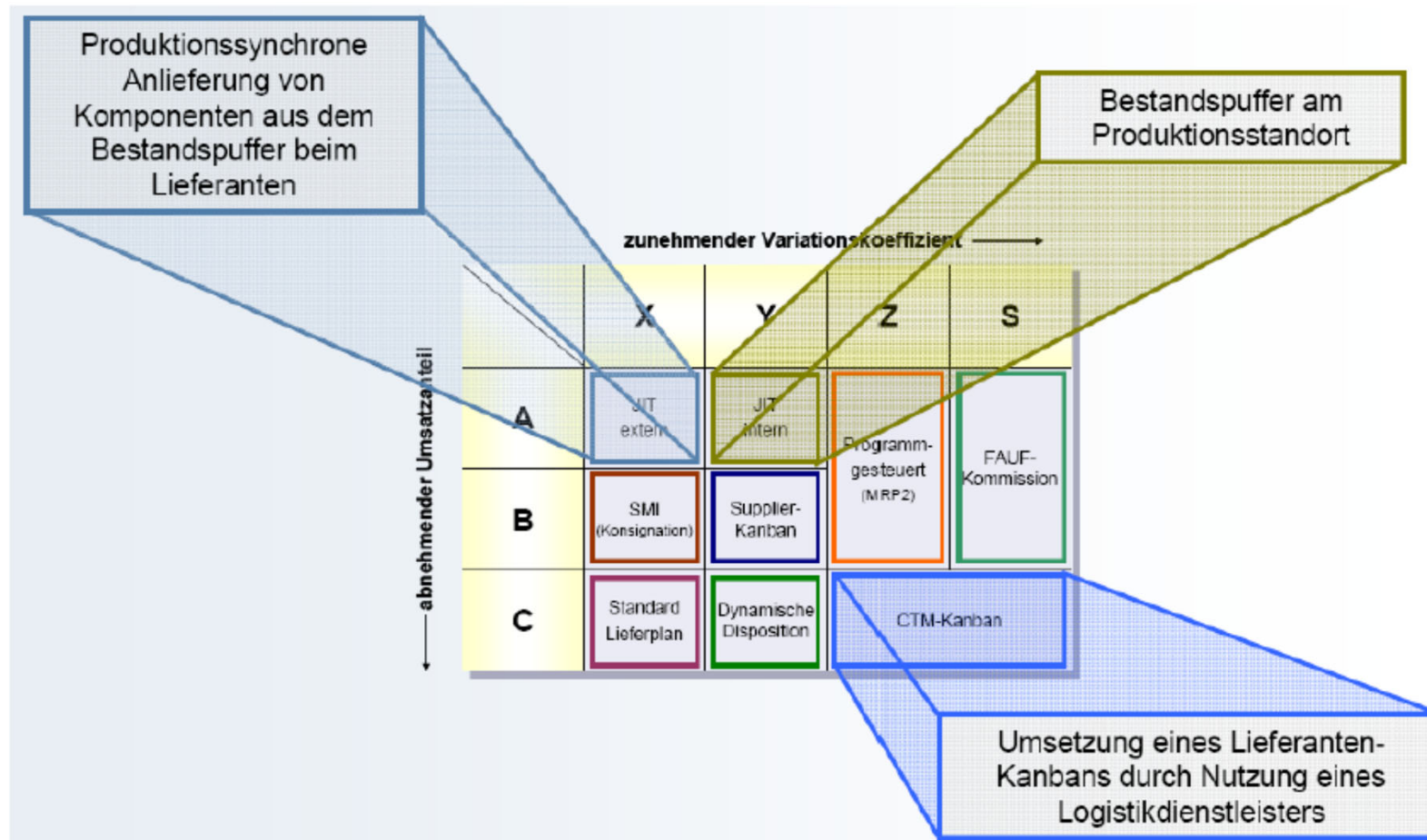
Klassifizierung nach wertmäßigem Verbrauch:



Übung ABC Analyse- Produktstrategie

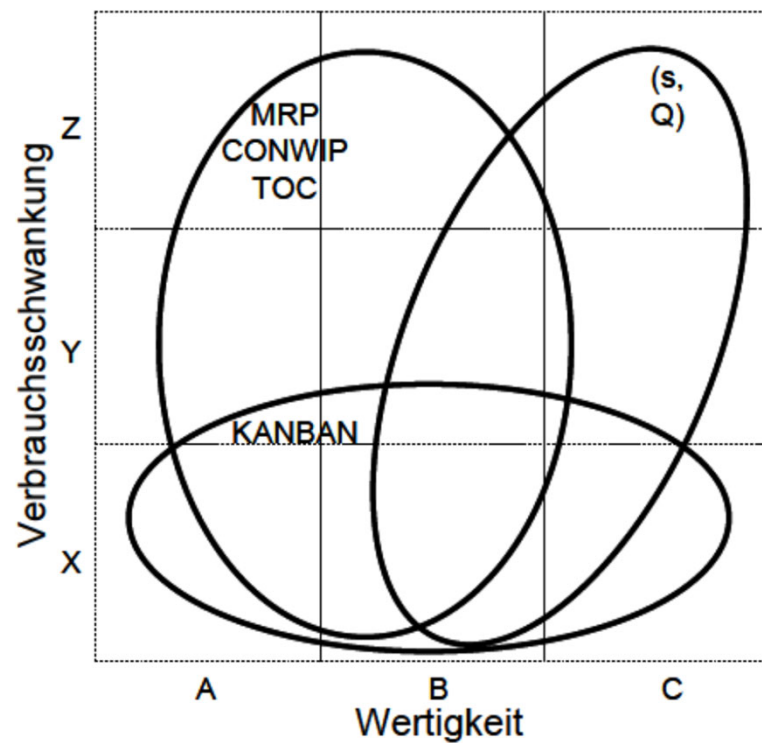


Siehe Jodlbauer; Produktionsoptimierung, 3. Auflage



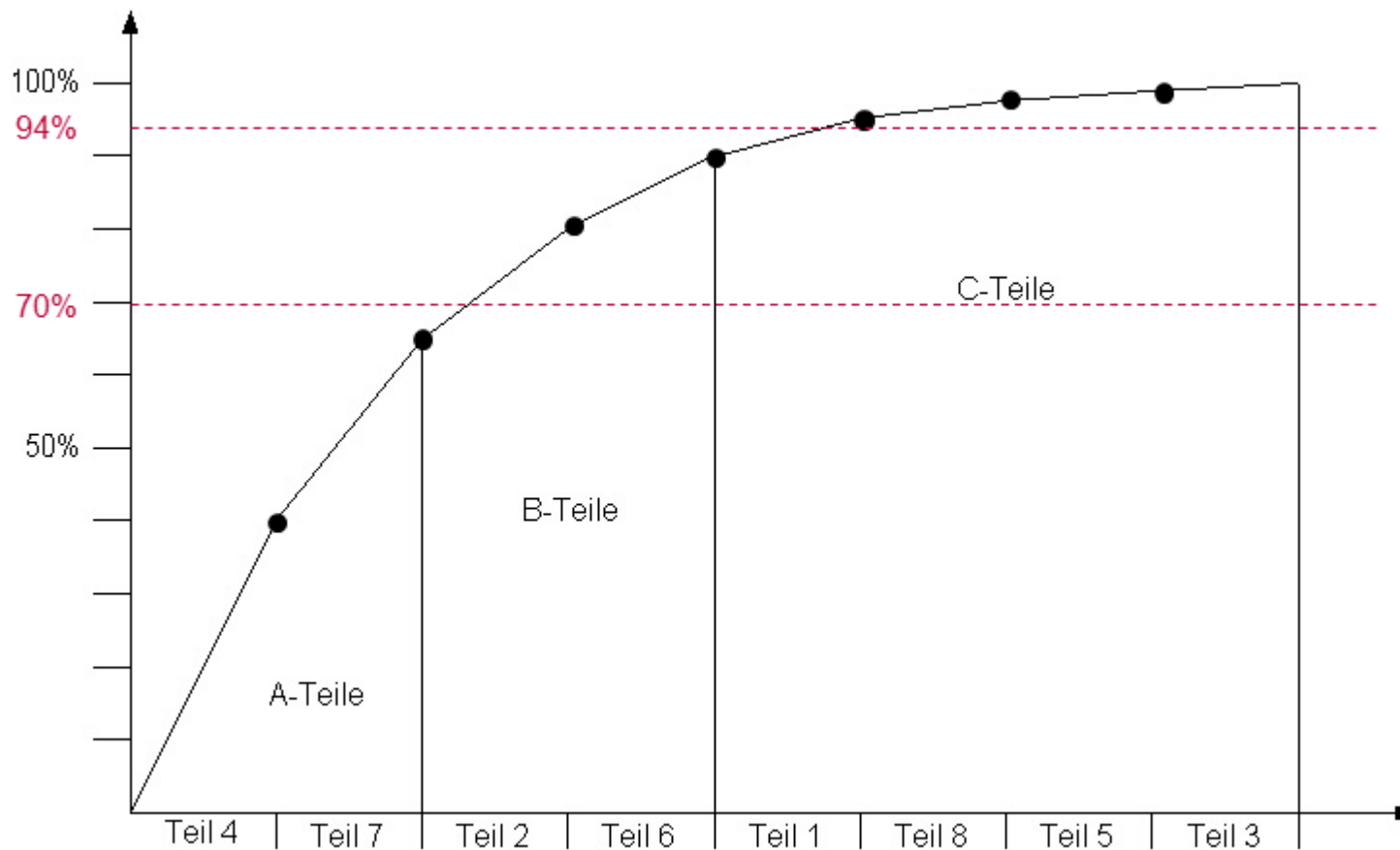
Quelle: RWTH Aachen

ABC Analyse - Auswahl Planungsverfahren

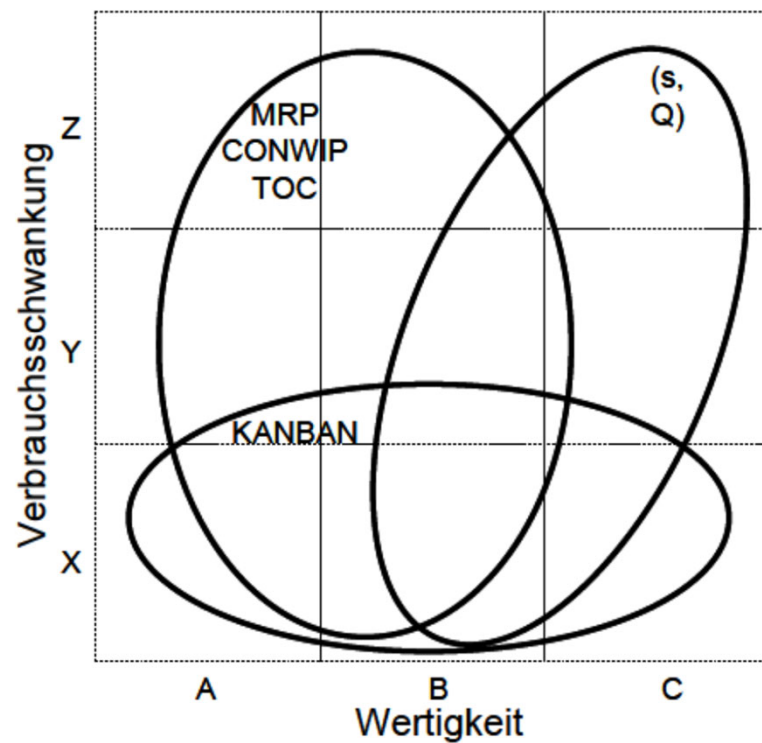


Siehe Jodlbauer; Produktionsoptimierung, 3. Auflage

ABC-Analyse: Pareto-Diagramm



ABC Analyse - Auswahl Planungsverfahren



Siehe Jodlbauer; Produktionsoptimierung, 3. Auflage