



# PSD Fernlehre 1

## Fabrik- und Layoutplanung:

Gruppe: 1B-F10

Alexander Falk

Tobias Reith

## Inhaltsangabe

1. Aufgabenstellung.....	4
2. Vorbereitende Planungsschritte.....	4
a) Berechnung der IST- und SOLL-Mengen der Erzeugnisse, Baugruppen und Teile auf Basis der Stückzahlenprognosen (Rundung auf ganze Zahlen).....	4
b) Berechnung der Masse der Erzeugnisse und Baugruppen je Stück.....	7
c) Berechnung der IST- und SOLL-Gesamtmassen der Erzeugnisse, Baugruppen und Teile	7
d) Berechnung der IST- und SOLL-Gesamtbearbeitungszeiten der Erzeugnisse, Baugruppen und Teile.....	9
e) Berechnung der erforderlichen Abteilungsflächen unter Berücksichtigung der Vorgaben zur Ermittlung der Lager- und Bearbeitungsflächen (Rundung auf ganze Zahlen) .....	10
f) Berechnung der erforderlichen Mitarbeiter-Anzahl je Abteilung unter Berücksichtigung der Vorgaben zur Ermittlung des Personalbedarfs (Rundung auf ganze Zahlen) .....	12
3. Idealplanung.....	14
g) Erstellen der Transportbeziehungsmatrix für die resultierenden Materialflüsse im Werk und Ableitung einer reduzierten Transportbeziehungsmatrix (kg pro Monat).....	14
h) Ableiten von mind. 2 verschiedenen Dreiecksschemata mittels Dreieckverfahren auf Basis der reduzierten Transportbeziehungsmatrix.....	16
i) Erstellen von mindestens 2 verschiedenen idealen Blockschemata (Ideal-Layout, ohne Berücksichtigung der Planungsrestriktionen) auf Basis eines der erstellten Dreieckschemata. Geben Sie dabei jenes Dreieckschema an, welches Sie für die Ableitung der zwei Blockschemata ausgewählt haben (Begründung!) .....	18
j) Ermittlung des resultierenden Transportaufwands für die beiden Ideal-Blockschemata (Ideal-Layout) unter Berücksichtigung der Vorgaben zur Ermittlung des Transportaufwands.	21
4. Realplanung inklusive Restriktionen .....	23
k) Ableiten eines optimalen Real-Layouts (General- und Gebäudestrukturplanung) je Planungsvariante aus einem der beiden Ideal-Blockschemata unter Berücksichtigung aller gegebenen Restriktionen je Planungsvariante inkl. Beschreibung (!) der beiden abgeleiteten Real-Layouts.....	23
l) Berechnen der Gesamttransport- und Informationsaufwände unter Berücksichtigung der Vorgaben zur Ermittlung des Transport- und Informationsaufwands je Reallayout-Variante. .	28
m) Berechnen der Layout-Gesamtkosten anhand der unterschiedlichen Kostenpositionen je Reallayout-Variante.....	31
n) Strukturierte Gegenüberstellung der beiden Reallayout-Varianten und Beschreibung der Vor- und Nachteile je Reallayout-Variante .....	34
5. Handlungsempfehlung.....	36
o) Begründete Auswahl der optimalen Reallayout-Variante .....	36
Anhang:.....	39



# 1. Aufgabenstellung

Es ist die Neuplanung eines bestehenden Fabriklayouts durchzuführen. Das Planungsobjekt ist ein metallverarbeitender Betrieb, dessen aktuelle Fabrikhalle weiterhin verwendet werden soll, aber aufgrund der Wachstumspläne des Unternehmens entweder

- durch den Zukauf einer leerstehenden Nebenhalle inklusive Bürotrakt oder
- durch einen Hallenzubau mit neuem Bürogebäude am bestehenden Grundstück erweitert werden soll.

Die beiden Planungsszenarien sollen in weiterer Folge überprüft und eine Handlungsempfehlung abgegeben werden.

# 2. Vorbereitende Planungsschritte

In diesem Abschnitt sind die vorbereitenden Planungsschritte a) – f) beschrieben. Dabei ist jeder Planungsschritt wie folgt protokolliert:

1. Beschreibung des Planungsschrittes
2. Beispielberechnung
3. Ausführung des Schrittes mit den dazugehörigen Excel Tabellen

## a) Berechnung der IST- und SOLL-Mengen der Erzeugnisse, Baugruppen und Teile auf Basis der Stückzahlenprognosen (Rundung auf ganze Zahlen)

Im Betrieb werden 5 verschiedene Erzeugnisse aus Aluminium und Stahl produziert, wobei die Erzeugnisse E1 und E2 aus den gleichen Rohmaterialien/Einzelteilen bzw. Zwischenfabrikaten (Baugruppen) bestehen. Die Berechnung der SOLL-Mengen der Erzeugnisse erfolgte anhand der, in Tabelle 1 aufgeführten, IST-Mengen und den prognostizierten Veränderungen. Die errechneten SOLL-Mengen wurden auf ganze Zahlen aufgerundet und sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 1: IST-Mengen der Erzeugnisse und zukünftige Entwicklung

Erzeugnisse	E1	E2	E3	E4	E5	SUMME
IST-Menge/Monat	50	70	65	4	2	191
Prognose	50%	20%	80%	220%	180%	

**Berechnungsbeispiel E1:**

**Berechnung der SOLL-Menge/Monat = IST Menge/Monat x (1+ Prognose in %)**

**SOLL Menge/Monat = 50 x (1+ 50/100) = 75**

Tabelle 2: Berechnung der SOLL-Mengen der Erzeugnisse

Erzeugnisse	E1	E2	E3	E4	E5	SUMME
SOLL-Menge/Monat	75	84	117	13	6	294

Nachdem die SOLL-Mengen der Erzeugnisse E1 bis E5 ausgerechnet wurden, konnten diese für die Berechnung der SOLL-Mengen der Rohteile und Baugruppen verwendet werden. Dazu wurden die Gesamt IST- und SOLL-Mengen mit den aus den Gozintographen (Abbildung 1) ersichtlichen Mengen der Rohteile und Baugruppen je Erzeugnis (Tabelle 3) multipliziert.

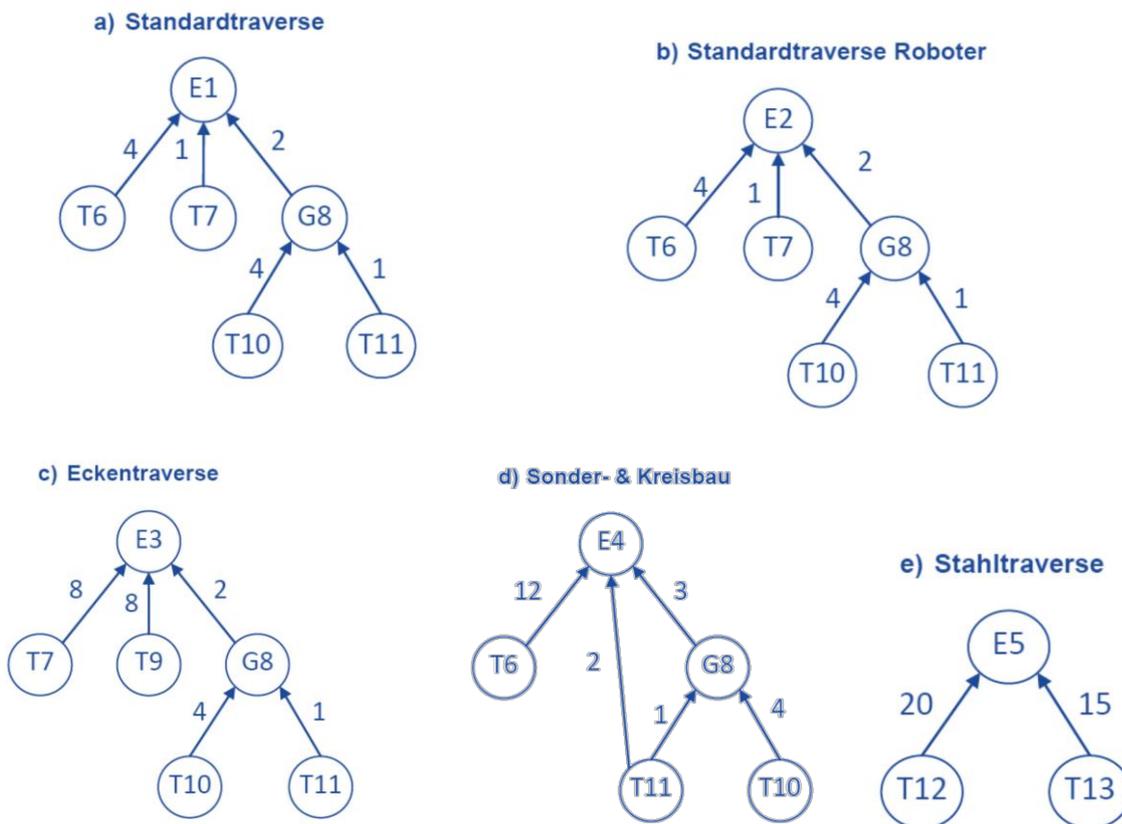


Abbildung 1: Gozintographen der Erzeugnisse

Aus den Gozintographen ergeben sich für die Erzeugnisse E1-E5 folgende Rohteil- und Baugruppenmengen

Tabelle 3: Menge der Rohteile je Erzeugnis

Rohteile	E1	E2	E3	E4	E5
T6	4	4		12	
T7	1	1	8		
T9			8		
T10	8	8	8	12	
T11	2	2	2	5	
T12					20
T13					15
Baugruppe G8	2	2	2	3	

Berechnungsbeispiel Gesamt IST- und SOLL-Mengen für T6:

**IST-Gesamtmenge T6 = 50 x 4 + 70 x 4 + 64 x 0 + 4 x 12 + 2 x 0 = 528**

**SOLL-Gesamtmenge T6 = 75 x 4 + 84 x 4 + 117 x 0 + 13 x 12 + 6 x 0 = 792**

Tabelle 4: Gesamt IST- und SOLL-Mengen der Rohteile und Baugruppen

Erzeugnisse	E1	E2	E3	E4	E5	Gesamtmenge	
IST-Menge/Monat G8	100	140	130	12		<b>G8 IST</b>	<b>382</b>
SOLL-Menge/Monat G8	150	168	234	39		<b>G8 SOLL</b>	<b>591</b>
IST-Menge/Monat T6	200	280		48		<b>T6 IST</b>	<b>528</b>
SOLL-Menge/Monat T6	300	336		156		<b>T6 SOLL</b>	<b>792</b>
IST-Menge/Monat T7	50	70	520			<b>T7 IST</b>	<b>640</b>
SOLL-Menge/Monat T7	75	84	936			<b>T7 SOLL</b>	<b>1095</b>
IST-Menge/Monat T9			520			<b>T9 IST</b>	<b>520</b>
SOLL-Menge/Monat T9			936			<b>T9 SOLL</b>	<b>936</b>
IST-Menge/Monat T10	400	560	520	48		<b>T10 IST</b>	<b>1528</b>
SOLL-Menge/Monat T10	600	672	936	156		<b>T10 SOLL</b>	<b>2364</b>
IST-Menge/Monat T11	100	140	130	20		<b>T11 IST</b>	<b>390</b>
SOLL-Menge/Monat T11	150	168	234	65		<b>T11 SOLL</b>	<b>617</b>
IST-Menge/Monat T12					40	<b>T12 IST</b>	<b>40</b>
SOLL-Menge/Monat T12					120	<b>T12 SOLL</b>	<b>120</b>
IST-Menge/Monat T13					30	<b>T13 IST</b>	<b>30</b>
SOLL-Menge/Monat T13					90	<b>T13 SOLL</b>	<b>90</b>

## b) Berechnung der Masse der Erzeugnisse und Baugruppen je Stück

Die Massen der einzelnen Rohteile sind in der Tabelle 5 bestimmt. Diese Massen wurden mit den in Kapitel 2.a) errechneten Mengen multipliziert, um somit die Masse der einzelnen Rohteile in den Erzeugnissen bestimmen zu können. Die Summe der Mengen und Massen der Rohteile ergibt die Gesamtmasse eines Erzeugnisses (Tabelle 6).

Tabelle 5: Massen der einzelnen Rohteile

Rohmaterial	T6	T7	T9	T10	T11	T12	T13
Masse in [kg]	14	5	1	0,5	4	3	2

### Berechnungsbeispiel E1:

Das Erzeugnis E1 besteht 4 x T6, 1 x T7 sowie 2 x der Baugruppe G8 welche sich aus 4 x T10 und 1 x T11 zusammensetzt. Daraus folgt für die Berechnung der Masse von E1:

$$\text{Masse E1} = 14\text{kg} \times 4 + 5\text{kg} \times 1 + 2 \times (0,5\text{kg} \times 4 + 4\text{kg} \times 1) = 73\text{kg}$$

Tabelle 6: Massen der einzelnen Erzeugnisse sowie der Baugruppe G8

Erzeugnis	Erzeugnis 1	Erzeugnis 2	Erzeugnis 3	Erzeugnis 4	Erzeugnis 5	Baugruppe G8
Masse in [kg]	73	73	60	194	90	6

## c) Berechnung der IST- und SOLL-Gesamtmassen der Erzeugnisse, Baugruppen und Teile

Für die Berechnung der Gesamtmassen wurden die Gesamtstückzahlen der Erzeugnisse aus Kapitel 2.a) mit dem Masse des jeweiligen Fertigerzeugnisses aus Tabelle 6 multipliziert. In der Tabelle 7 sind die Ergebnisse dargestellt. Parallel wurde die Berechnung für die Gesamtmassen der Rohteile und der Baugruppe G8 durchgeführt (Tabelle 8).

### Berechnungsbeispiel E1:

$$\text{Gesamt IST-Masse aller Erzeugnisse E1} = \text{IST-Menge von E1} \times \text{Einzelmasse in kg von E1}$$

$$\text{Gesamt IST-Masse aller Erzeugnisse E1} = 50 \times 73\text{kg} = 3650\text{kg}$$

$$\text{Gesamt SOLL-Masse aller Erzeugnisse E1} = \text{SOLL-Menge von E1} \times \text{Einzelmasse in kg von E1}$$

$$\text{Gesamt SOLL-Masse aller Erzeugnisse E1} = 75 \times 73\text{kg} = 5475\text{kg}$$

Tabelle 7: Gesamtmasse der Erzeugnisse

Erzeugnisse	E1	E2	E3	E4	E5	SUMME
IST-Menge/Monat	50	70	65	4	2	
SOLL-Menge/Monat	75	84	117	13	6	
Einzelmasse [kg]	73	73	60	194	90	
<b>Gesamtmasse IST [kg]</b>	<b>3650</b>	<b>5110</b>	<b>3900</b>	<b>776</b>	<b>180</b>	<b>13616</b>
<b>Gesamtmasse SOLL [kg]</b>	<b>5475</b>	<b>6132</b>	<b>7020</b>	<b>2522</b>	<b>540</b>	<b>21689</b>

Berechnungsbeispiel T6:

**Gesamt IST-Masse aller Teile T6 = 528 x 14kg = 7392**

**Gesamt SOLL-Masse aller Teile T6 = 792 x 14kg = 11088**

Tabelle 8: Gesamtmassen aller Rohteile und aller Baugruppen G8

	Menge/Monat	Einzelmassen [kg]	Gesamtmassen [kg]
<b>G8 IST</b>	382	6	<b>2292</b>
<b>G8 SOLL</b>	591	6	<b>3546</b>
<b>T6 IST</b>	528	14	<b>7392</b>
<b>T6 SOLL</b>	792	14	<b>11088</b>
<b>T7 IST</b>	640	5	<b>3200</b>
<b>T7 SOLL</b>	1095	5	<b>5475</b>
<b>T9 IST</b>	520	1	<b>520</b>
<b>T9 SOLL</b>	936	1	<b>936</b>
<b>T10 IST</b>	1528	0,5	<b>764</b>
<b>T10 SOLL</b>	2364	0,5	<b>1182</b>
<b>T11 IST</b>	390	4	<b>1560</b>
<b>T11 SOLL</b>	617	4	<b>2468</b>
<b>T12 IST</b>	40	3	<b>120</b>
<b>T12 SOLL</b>	120	3	<b>360</b>
<b>T13 IST</b>	30	2	<b>60</b>
<b>T13 SOLL</b>	90	2	<b>180</b>
	<b>Gesamtmasse Rohmaterial IST:</b>		<b>13616</b>
	<b>Gesamtmasse Rohmaterial SOLL:</b>		<b>21689</b>

### d) Berechnung der IST- und SOLL-Gesamtbearbeitungszeiten der Erzeugnisse, Baugruppen und Teile

Als nächstes wurden die IST und SOLL-Gesamtbearbeitungszeiten ausgerechnet. Dies geschah auf Grundlage der erweiterten Arbeitspläne in denen die Bearbeitungszeiten der einzelnen Teile, Baugruppen und Erzeugnisse definiert sind. Die entnommenen Bearbeitungszeiten wurden mit der zuvor errechneten Stückzahl multipliziert.

Berechnungsbeispiel T6:

**Gesamtarbeitszeit =  $\sum$  Zeit in Abteilung x Menge/Monat**

**Gesamtarbeitszeit IST T6 = (Zeit in Abt. 1 + Zeit in Abteilung 3) x IST-Menge/Monat**

**Gesamtarbeitszeit IST T6 = (2 ZE + 5 ZE) x 528 = 3696 ZE**

**Gesamtarbeitszeit SOLL T6 = (Zeit in Abt. 1 + Zeit in Abteilung 3) x SOLL-Menge/Monat**

**Gesamtarbeitszeit SOLL T6 = (2 ZE + 5 ZE) x 792 = 5544 ZE**

Tabelle 9: Gesamtbearbeitungszeit der Rohteile und der Baugruppe G8

Rohteile	T6	T7	T9	T10	T11	T12	T13	G8	Zeit Abt./Monat IST	Zeit Abt./Monat SOLL
Zeit in Abt. 1	2	2	2	2	2				7212	11608
Zeit in Abt. 2								10	3820	5910
Zeit in Abt. 3	5								2640	3960
Zeit in Abt. 9						2	2		140	420
<b>Summe der Bearb.-zeit</b>	7	2	2	2	2	2	2	10		
Anzahl/Monat IST	528	640	520	1528	390	40	30	382		
Anzahl/Monat SOLL	792	1095	936	2364	617	120	90	591		
<b>Gesamtbearb.-zeit IST</b>	<b>3696</b>	<b>1280</b>	<b>1040</b>	<b>3056</b>	<b>780</b>	<b>80</b>	<b>60</b>	<b>3820</b>		
<b>Gesamtbearb.-zeit SOLL</b>	<b>5544</b>	<b>2190</b>	<b>1872</b>	<b>4728</b>	<b>1234</b>	<b>240</b>	<b>180</b>	<b>5910</b>		

Beispielberechnung E1:

**Gesamtarbeitszeit SOLL E1 = (Zeit in Abt. 4 + Zeit in Abteilung 11 + Zeit in Abt 12) x SOLL-Menge/Monat**

**Gesamtarbeitszeit SOLL E1 = (40 ZE + 25 ZE +20 ZE) x 75 = 4250 ZE**

Tabelle 10: Gesamtbearbeitungszeit der Erzeugnisse

Erzeugnisse	E1	E2	E3	E4	E5	ZE in Abt.	Zeit Abt./Monat IST	Zeit Abt./Monat SOLL
Zeit in Abt. 4	40					40	2000	3000
Zeit in Abt. 5			60			60	3900	7020
Zeit in Abt. 6		50				50	3500	4200
Zeit in Abt. 7					50	50	100	300
Zeit in Abt. 8				80		80	320	1040
Zeit in Abt. 10					40	40	80	240
Zeit in Abt. 11	25	30	30	40	20	145	5500	8545
Zeit in Abt. 12	20	20	25	30	35	130	4215	6705
Summe der Bearb.-zeit	85	100	115	150	145	595		
Anzahl/ Monat IST	50	70	65	4	2			
Anzahl/ Monat SOLL	75	84	117	13	6			
<b>Gesamtbearb.-zeit IST</b>	4250	7000	7475	600	290			
<b>Gesamtbearb.-zeit SOLL</b>	6375	8400	13455	1950	870			

**e) Berechnung der erforderlichen Abteilungsflächen unter Berücksichtigung der Vorgaben zur Ermittlung der Lager- und Bearbeitungsflächen (Rundung auf ganze Zahlen)**

Als nächstes wurden für die Flächenberechnung die erforderlichen Produktions- und Lagerflächen bestimmt. Produktionsflächen fallen in allen Abteilungen mit Bearbeitungs-schritten an, Lagerflächen in allen Abteilungen mit Lagerfunktion. Für die Bearbeitungsschritte sind keine sonstigen Lager- oder Pufferflächen erforderlich.

Für die Berechnung der erforderlichen Produktionsflächen je Abteilung wurden die kumulierten Bearbeitungszeiten je Abteilung pro Monat angenommen.

Berechnungsbeispiel Abteilung 5

***Soll-Fläche Produktion = Ist-Fläche x (Raumnutzung/100) x Soll-Zeit/Ist-Zeit***

***Soll-Fläche Abteilung 5 = 50m<sup>2</sup> x (110/100) x 7020 ZE/3900 ZE = 99m<sup>2</sup>***

Für die Berechnung der erforderlichen Lagerflächen je Abteilung wurden die kumulierten Massen je Abteilung pro Monat angenommen, falls diese in der Abteilung auch gelagert werden.

Berechnungsbeispiel Abteilung 0:

***Soll-Fläche Lagerung = Ist-Fläche x (Raumnutzung/100) x Soll-Masse/Ist-Masse***

***Soll-Fläche Abt. 0 = 250m<sup>2</sup> x (110/100) x 21149kg/13616kg = 427m<sup>2</sup>***

Bei Abteilungen (z.B. Abteilung 12) in denen sowohl Bearbeitungsschritte als auch eine Lagerfunktion geplant sind, wurden die erforderlichen Flächen zusammen addiert.

\*Um eine bessere Trennung des Erzeugnisses E5 von den restlichen Erzeugnissen zu gewährleisten, wurden in der Abteilung 9 zusätzlich zu der Bearbeitungsfunktion eine Lagerfunktion eingeplant, so dass diese als zweiter Wareneingang fungiert. Diese Entscheidung wird noch im Rahmen der Ideal- und Realplanung näher beschrieben.

Tabelle 11: SOLL-flächen Bearbeitung und Lager

Bearbeitung	Ist-Fläche [m <sup>2</sup> ]	Raumnutzung [%]	Ist-Zeit	Soll-Zeit	Sollfläche Bearb. [m <sup>2</sup> ]
Abt. 1	70	110	7212	11608	124
Abt. 2	30	95	3820	5910	44
Abt. 3	50	105	2640	3960	79
Abt. 4	220	105	2000	3000	347
Abt. 5	50	110	3900	7020	99
Abt. 6	230	100	3500	4200	276
Abt. 7	130	100	100	300	390
Abt. 8	300	95	320	1040	926
Abt. 9 B	30	105	140	420	95
Abt. 10	100	110	80	240	330
Abt. 11	200	105	5500	8545	326
Abt. 12 B	100	105	4215	6705	167
Lager	Ist-Fläche [m <sup>2</sup> ]	Raumnutzung [%]	Ist-Masse	Soll-Masse	Sollfläche Lager [m <sup>2</sup> ]
Abt. 0	250	110	13616	21149	427
Abt. 9 L	30	105	180	540	95
Abt. 12 L	100	105	13616	21689	167
Abt. 9 ges					190
Abt. 12 ges					334

**f) Berechnung der erforderlichen Mitarbeiter-Anzahl je Abteilung unter Berücksichtigung der Vorgaben zur Ermittlung des Personalbedarfs (Rundung auf ganze Zahlen)**

Die Mitarbeiter- Anzahl je Abteilung erfolgte unter der Berücksichtigung der Vorgaben zur Ermittlung des Personalbedarfs. Der Personalbedarf im Wareneingang (Abt. 0) und im Fertigwarenlager (Abt. 12) ist abhängig vom umgeschlagenen Gesamt-Massenstrom. Der Personalbedarf in der Abteilung mit Bearbeitungsschritten (Abt. 1 bis Abt. 11) ist abhängig von der jeweiligen Gesamt-Bearbeitungszeit. Die Anzahl der Mitarbeiter je Abteilung wurde auf ganze Zahlen aufgerundet.

Beispiel Mitarbeiteranzahl Lager Abteilung 0:

***Anz. Mitarbeiter je Abt. = Soll-Gesamtmassenstrom je Abt. [kg] / 100.000 [kg]***

***Anz. Mitarbeiter Abt.0 = 21149 kg/ 100.000 kg = 0,21 ≈ 1MA***

Beispiel Mitarbeiteranzahl Bearbeitung Abteilung 1:

***Anz. Mitarbeiter je Abt. = Soll-Gesamtbearbeitungszeit je Abt. [ZE] / 1.000 [ZE]***

***Anz. Mitarbeiter Abt.1 = 11608 ZE/ 1000 ZE = 11,61 ≈ 12MA***

Tabelle 12: Personalbedarf je Abteilungf

Bearbeitung	Soll-Gesamtbearb.-zeit [ZE]	MA-Anzahl	MA-Anzahl
Abt. 1	11608	11,61	12
Abt. 2	5910	5,91	6
Abt. 3	3960	3,96	4
Abt. 4	3000	3,00	3
Abt. 5	7020	7,02	8
Abt. 6	4200	4,20	5
Abt. 7	300	0,30	1
Abt. 8	1040	1,04	2
Abt. 9	420	0,42	1
Abt. 10	240	0,24	1
Abt. 11	8545	8,55	9
Lager	<b>Soll-Gesamtmassenstrom [kg]</b>	<b>MA-Anzahl</b>	<b>MA-Anzahl</b>
Abt. 0	21149	0,21	1
Abt. 12	21689	0,22	1

Berechnung für den Administrativen Bereich, der Gesamten Mitarbeiteranzahl sowie der Mindestanzahl an Parkplätzen:

Der Personalbedarf im administrativen Bereich beträgt laut Vorgaben 10% des Personalbedarfs der Abteilungen 0-12.

**Mitarbeiter Administrativer Bereich =  $100\% \times \text{Summe Abt. 0-12} = 10/100 \times 54 = 5.4 \approx 6$**

Die Gesamte Mitarbeiteranzahl ergibt sich aus den Mitarbeitern der Abt. 0 -12 und den administrativen Mitarbeitern.

**Gesamte Mitarbeiteranzahl =  $\text{Summe Abt. 0 -12} + \text{Adm. Bereich} = 54 + 6 = 60$**

Es werden Parkplätze für mindestens 60 Prozent der Mitarbeiter benötigt.

**Mindestanzahl Parkplätze =  $60\% \times \text{Gesamte Mitarbeiteranzahl} = 60/100 \times 60 = 36$**

Bei einer Parkplatzgröße von 2,5m mal 5m ergibt sich für die Gesamtparkplatzfläche mindestens:

**Parkplatzfläche =  $2,5m \times 5m \times 36 = 450m^2$**

Tabelle 13: Mitarbeiter Administrativer Bereich und Anzahl Parkplätze

<b>Administrativer Bereich (10% der ges. MA)</b>	5.4	6
<b>Gesamte Mitarbeiteranzahl</b>		60.00
<b>Mindestanzahl Parkplätze (60%) (a 2,5m x 5m)</b>		36.00

### 3. Idealplanung

#### g) Erstellen der Transportbeziehungsmatrix für die resultierenden Materialflüsse im Werk und Ableitung einer reduzierten Transportbeziehungsmatrix (kg pro Monat)

Im nächsten Schritt wurde die Transportbeziehungsmatrix aufgestellt. Dies ist ein notwendiger Schritt zur Erstellung der Dreiecksschemata. Dabei wurden zunächst alle Transportbeziehungen zwischen den jeweiligen Abteilungen, welche aus den Arbeitsplänen ermittelt wurden, sowie die dazugehörigen Massenströme (aus den Tabellen in 2.b) und 2.c)) in einer Matrix dargestellt (Tabelle 14). Das Transportaufkommen zwischen den Abteilungen 0 und 9 entfällt bei uns, im Gegensatz zu den Angaben im Arbeitsplan, da wir uns zu einer Aufspaltung des Wareneingangs auf die beiden Abteilungen entschieden haben.

#### Beispiel - Transportaufkommen von Abt.3 zu Abt.4

Laut Arbeitsplan geht das Teil T6, welches zur Herstellung des Erzeugnis E1 vier Mal benötigt wird, von der Abteilung 3 zu der Abteilung 4. Die Masse für ein T6 kann Tabelle 6 entnommen werden und beträgt 14kg. Tabelle 2 zeigt, dass das Erzeugnis E1 insgesamt 75 Mal pro Monat produziert wird. Daraus folgt für den Massenstrom:

#### **Massenstrom zwischen Abt.3 und Abt.4**

**= Masse von T6 x Menge von T6 für eine Einheit von E1 x Gesamtmenge E1/Monat**

**= 14kg x 4 x 75 1/Monat = 4200kg/Monat**

Tabelle 14: Transportbeziehungsmatrix

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	x	21149											
1		x	3546	11088	375	5616	420		104				
2			x		900	1404	1008		234				
3				x	4200		4704		2184				
4					x							5475	
5						x						7020	
6							x					6132	
7								x			540		
8									x			2522	
9										x	540		
10								540			x	540	
11												x	21689
12													x

In der reduzierten Transportbeziehungsmatrix (Tabelle 15) werden die Rücktransporte zwischen den Abteilungen (Abteilung 10 zu Abteilung 7) zu den Hin Transporten aufsummiert und zur besseren Lesbarkeit gespiegelt (Tabelle 16).

Tabelle 15: Reduzierte Transportbeziehungsmatrix

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	x	21149											
1		x	3546	11088	375	5616	420		104				
2			x		900	1404	1008		234				
3				x	4200		4704		2184				
4					x							5475	
5						x						7020	
6							x					6132	
7								x			1080		
8									x			2522	
9										x	540		
10											x	540	
11												x	21689
12													x

Tabelle 16: Transponierte Transportbeziehungsmatrix

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	x												
1	21149	x											
2		3546	x										
3		11088		x									
4		375	900	4200	x								
5		5616	1404			x							
6		420	1008	4704			x						
7								x					
8		104	234	2184					x				
9										x			
10								1080		540	x		
11					5475	7020	6132		2522		540	x	
12												21689	x

### h) Ableiten von mind. 2 verschiedenen Dreiecksschemata mittels Dreieckverfahren auf Basis der reduzierten Transportbeziehungsmatrix.

Die Dreiecksschemata wurden aus der Transportbeziehungsmatrix mit Hilfe des Dreieckverfahrens erstellt. Zunächst einmal wurde geschaut zwischen welchen beiden Abteilungen das höchste Transportaufkommen herrscht. Diese beiden Abteilungen wurden dann nebeneinander im Dreiecksraster platziert. In unserem Fall findet das meiste Transportaufkommen zwischen den Abteilung 11 und 12 statt.

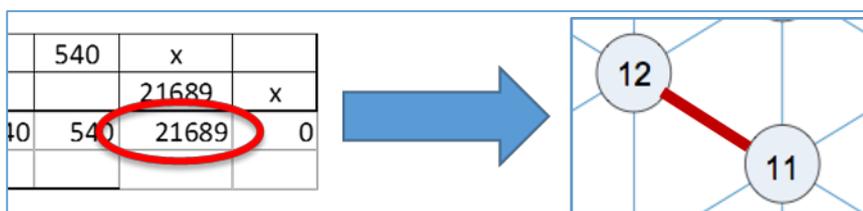


Abbildung 2: Beispiel Dreieckverfahren

Danach wurde die Abteilung ermittelt, mit der die beiden bereits platzierten Abteilungen die nächstgrößte Transportbeziehung haben. Dazu wurden die Abteilungen 11 und 12 mit den dazugehörigen Massenströmen in eine neue Matrix (Tabelle 17) übertragen und die Spalten 11 und 12 rausgestrichen. So ergab sich die nächstgrößte Transportbeziehung zwischen den Abteilungen 5 und 11 mit 7020kg. Die Abteilung 5 wurde folglich als Nächstes im Dreiecksraster platziert.

Tabelle 17: Dreieckverfahren Schritt 1

Abteilung	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11					5475	7020	6132		2522		540
12											
<b>Summe</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5475</b>	<b>7020</b>	<b>6132</b>	<b>0</b>	<b>2522</b>	<b>0</b>	<b>540</b>

Dieser Schritt wurde dann mit den Abteilungen 5, 11 und 12 erneut ausgeführt. Die nächstgrößte Transportbeziehung ergab sich zwischen den Abteilungen 11 und 6 mit 6132 kg.

Tabelle 18: Dreieckverfahren Schritt 2

Abteilung	0	1	2	3	4	6	7	8	9	10
5		5616	1404							
11					5475	6132		2522		540
12										
<b>Summe</b>	<b>0</b>	<b>5616</b>	<b>1404</b>	<b>0</b>	<b>5475</b>	<b>6132</b>	<b>0</b>	<b>2522</b>	<b>0</b>	<b>540</b>

Dieser Schritt wurde so lange wiederholt bis eine vollständige Reihenfolge aller Abteilungen entstanden ist (Tabelle 19). Die vollständige Vorgehensweise ist dem Anhang zu entnehmen.

Tabelle 19: Reihenfolge der Abteilungen im Dreiecksraster

Abteilung	9	7	10	8	2	4	3	0	1	6	5	11	12
Reihenfolge	←												

Auf Basis der abgeleiteten Reihenfolge wurden daraufhin drei verschiedene Dreieckschemata erstellt.

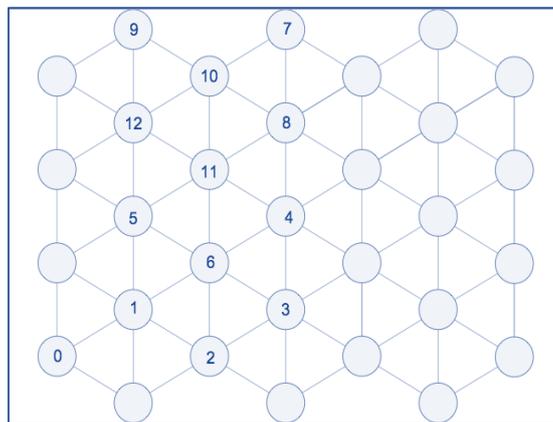


Abbildung 3: Dreiecksschema 1

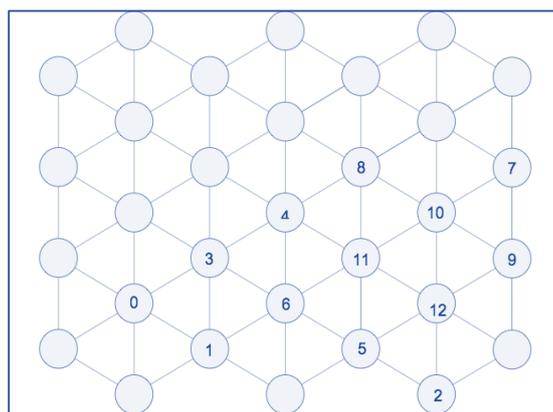


Abbildung 4: Dreiecksschema 2

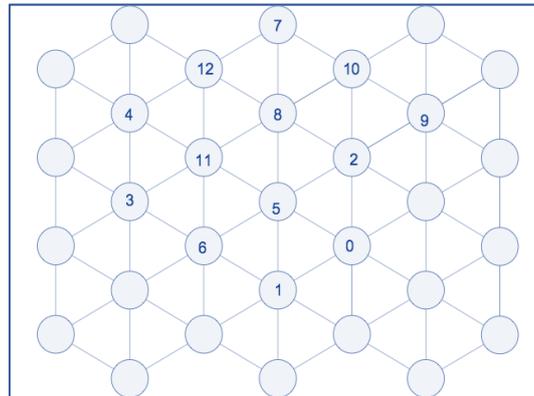


Abbildung 5: Dreieckschema 3

- i) Erstellen von mindestens 2 verschiedenen idealen Blockschemata (Ideal-Layout, ohne Berücksichtigung der Planungsrestriktionen) auf Basis eines der erstellten Dreieckschemata. Geben Sie dabei jenes Dreieckschema an, welches Sie für die Ableitung der zwei Blockschemata ausgewählt haben (Begründung!).

Zunächst wurden die drei Dreieckschemata verglichen um das Optimale Dreieckschema zu finden, auf deren Grundlage die Blockschemata erstellt werden. Die Bestimmung erfolgte anhand der Massenströmen und der zurückgelegten Abteilung je Transportbeziehung. Grenzen Abteilungen zwischen denen ein Transportbeziehung vorliegt direkt aneinander, so wurde diese mit dem Faktor 1 multipliziert. Liegt eine Abteilung dazwischen im Dreieckschema so wurde die transportierte Menge mit dem Faktor 2 multipliziert usw. Die Gegenüberstellung der drei Dreieckschemata kann der Tabelle 21 entnommen werden.

Berechnungsbeispiel Dreieckschema 1 von Abteilung 1 zu 8:

Schaut man sich das Dreieckschema 1 an, so erkennt man dass man die Abteilungen 8 von der Abteilung 1 nicht direkt erreichen kann, sondern nur über die Abteilungen 6,4 bzw. 5,11. Demzufolge wurde die Menge die zwischen Abteilung 1 und 8 transportiert wird mit dem Faktor 3 multipliziert.

**$Menge/Wege = Menge \times zurückgelegte \text{ Abteilungen} = 104kg \times 3 = 312kg$**

Tabelle 21: Vergleich der drei Dreiecksschemata:

Von-Nach	D-Schema1:			D-Schema2:			D-Schema3:		
	Menge	Abt.	Menge/Wege	Menge	Abt.	Menge/Wege	Menge	Abt.	Menge/Wege
0-1	21149	1	21149	21149	1	21149	21149	1	21149
1-2	3546	1	3546	3546	3	10638	3546	2	7092
1-3	11088	2	22176	11088	1	11088	11088	2	22176
1-4	375	2	750	375	2	750	375	3	1125
1-5	5616	1	5616	5616	2	11232	5616	1	5616
1-6	420	1	420	420	1	420	420	1	420
1-8	104	3	312	104	3	312	104	2	208
2-4	900	2	1800	900	3	2700	900	3	2700
2-5	1404	2	2808	1404	1	1404	1404	1	1404
2-6	1008	1	1008	1008	2	2016	1008	2	2016
2-8	234	3	702	234	3	702	234	1	234
3-4	4200	1	4200	4200	1	4200	4200	1	4200
3-6	4704	1	4704	4704	1	4704	4704	1	4704
3-8	2184	2	4368	2184	2	4368	2184	2	4368
4-11	5475	1	5475	5475	1	5475	5475	1	5475
5-11	7020	1	7020	7020	1	7020	7020	1	7020
6-11	6132	1	6132	6132	1	6132	6132	1	6132
7-10	1080	1	1080	1080	1	1080	1080	1	1080
8-11	2522	1	2522	2522	1	2522	2522	1	2522
9-10	540	1	540	540	1	540	540	1	540
10-11	540	1	540	540	1	540	540	2	1080
11-12	21689	1	21689	21689	1	21689	21689	1	21689
			<b>118557</b>			<b>120681</b>			<b>122950</b>

Die Tabelle ergab, dass das Dreieckschema Nr.1 die beste Alternative ist, da dort die Summe der Mengen/Wege am geringsten ist. Das liegt daran, dass die größten Transportmengen zwischen direkt nebeneinander liegenden Abteilungen stattfinden. Demzufolge wurden diese Variante zur Ableitung der beiden Blockschemata benutzt.

Zum Erstellen der Blockschemata wurden die realen Soll-Flächen als Quadrate in das Dreieckschemata eingesetzt und so verschoben, dass am Ende eine kompakte Anordnung der Abteilungen entstanden ist.

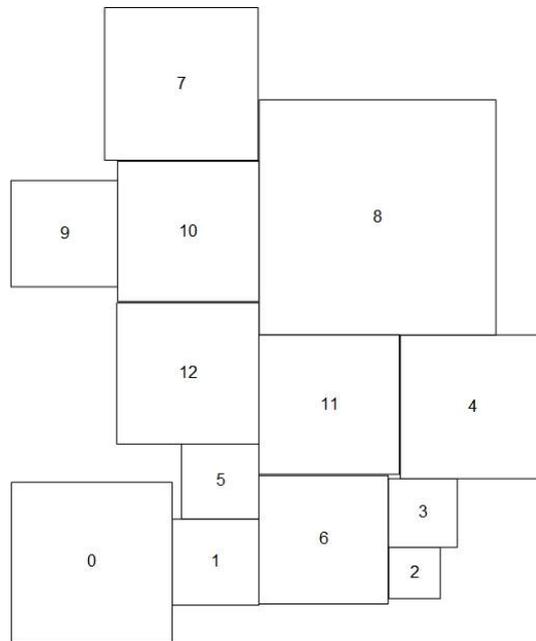


Abbildung 6: Blockschema 1

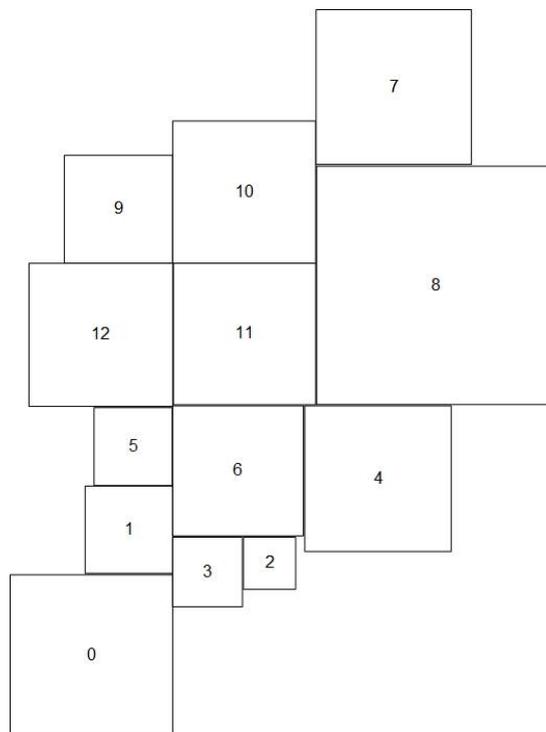


Abbildung 7: Blockschema 2

**j) Ermittlung des resultierenden Transportaufwands für die beiden Ideal-Blockschemata (Ideal-Layout) unter Berücksichtigung der Vorgaben zur Ermittlung des Transportaufwands.**

Die Berechnung des Transportaufwands für die beiden Blocklayouts erfolgte über die Summe der x- und y Abstände im Koordinatensystem. Für die Abmessungen wurden jeweils die Flächenschwerpunkte als Bezugspunkt angenommen.

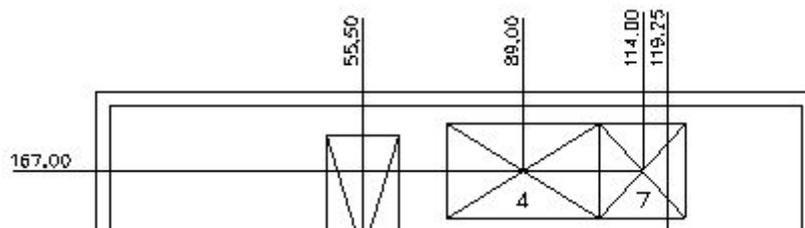


Abbildung 8: Vorgaben zur Berechnung des Transportaufwands

Beispiel von 0 nach 1:

$$\begin{aligned} \text{Transportaufwand } 0-1 &= m_{0-1} * [l(x_0 - x_1)| + l(y_0 - y_1)|] \\ &= 21140\text{kg} * [l(51,02\text{m} - 66,94\text{m})| + l(68,07\text{m} - 0,01\text{m})|] = 336904 \text{ kg*m} \end{aligned}$$

Für die Bearbeitung des Reallayouts wurde das Blockschemata 1 ausgewählt, da hier bereits eine leichte U-Form gegeben ist und der Transportaufwand ebenfalls geringer ist. Das Blocklayout wurde horizontal gespiegelt in das Reallayout eingefügt, da die Zufahrt von Rechts ist und der Standort von Abteilung 6 nicht veränderbar ist.

Tabelle 22: Transportaufwand Blockschema 1

LAYOUT 1		Abt.	Koordinaten [m]		Abt.	Koordinaten [m]		Abstände [m]		Summe	Gesamt kg*m
von/ nach	kg		x	y		x	y	x	y		
0-1	21149	0	51,02	68,07	1	66,94	68,06	15,92	0,01	15,9	336904
1-2	3546	1	66,94	68,06	2	92,50	66,68	25,56	1,38	26,9	95529
1-3	11088	1	66,94	68,06	3	93,57	74,44	26,63	6,38	33,0	366015
1-4	375	1	66,94	68,06	4	100,00	88,20	33,06	20,14	53,2	19950
1-5	5616	1	66,94	68,06	5	67,52	78,65	0,58	10,59	11,2	62731
1-6	420	1	66,94	68,06	6	80,80	70,99	13,86	2,93	16,8	7052
1-8	260	1	66,94	68,06	8	87,75	112,71	20,81	44,65	65,5	17020
2-4	900	2	92,50	66,68	4	100,00	88,20	7,50	21,52	29,0	26118
2-5	1404	2	92,50	66,68	5	67,52	78,65	24,98	11,97	37,0	51878
2-6	1008	2	92,50	66,68	6	80,80	70,99	11,70	4,31	16,0	16138

2-8	234	2	92,50	66,68	8	87,75	112,71	4,75	46,03	50,8	11883
3-4	4200	3	93,57	74,44	4	100,00	88,20	6,43	13,76	20,2	84798
3-6	4704	3	93,57	74,44	6	80,80	70,99	12,77	3,45	16,2	76299
3-8	2184	3	93,57	74,44	8	87,75	112,71	5,82	38,27	44,1	96293
4-11	5475	4	100,00	88,20	11	81,53	88,47	18,47	0,27	18,7	102602
5-11	7020	5	67,52	78,65	11	81,53	88,47	14,01	9,82	23,8	167287
6-11	6132	6	80,80	70,99	11	81,53	88,47	0,73	17,48	18,2	111664
7-10	1080	7	62,52	130,00	10	63,42	110,91	0,90	19,09	20,0	21589
8-11	2522	8	87,75	112,71	11	81,53	88,47	6,22	24,24	30,5	76820
9-10	540	9	47,50	110,61	10	63,42	110,91	15,92	0,30	16,2	8759
10-11	540	10	63,42	110,91	11	81,53	88,47	18,11	22,44	40,6	21897
11-12	21689	11	81,53	88,47	12	63,36	92,50	18,17	4,03	22,2	481496
											<b>2260718</b>

Tabelle 23: Transportaufwand Blockschema 2

LAYOUT 1		Abt.	Koordinaten [m]		Abt.	Koordinaten [m]		Abstände [m]			Gesamt kg*m
von/nach	kg		x	y		x	y	x	y	Summe	
0-1	21149	0	62,17	47,37	1	66,94	63,47	4,77	16,10	20,9	441380
1-2	3546	1	66,94	63,47	2	84,80	59,18	17,86	4,29	22,2	78544
1-3	11088	1	66,94	63,47	3	76,94	58,07	10,00	5,40	15,4	170755
1-4	375	1	66,94	63,47	4	98,59	70,00	31,65	6,53	38,2	14318
1-5	5616	1	66,94	63,47	5	67,48	74,09	0,54	10,62	11,2	62675
1-6	420	1	66,94	63,47	6	80,81	70,98	13,87	7,51	21,4	8980
1-8	260	1	66,94	63,47	8	106,00	94,69	39,06	31,22	70,3	18273
2-4	900	2	84,80	59,18	4	98,59	70,00	13,79	10,82	24,6	22149
2-5	1404	2	84,80	59,18	5	67,48	74,09	17,32	14,91	32,2	45251
2-6	1008	2	84,80	59,18	6	80,81	70,98	3,99	11,80	15,8	15916
2-8	234	2	84,80	59,18	8	106,00	94,69	21,20	35,51	56,7	13270
3-4	4200	3	76,94	58,07	4	98,59	70,00	21,65	11,93	33,6	141036
3-6	4704	3	76,94	58,07	6	80,81	70,98	3,87	12,91	16,8	78933
3-8	2184	3	76,94	58,07	8	106,00	94,69	29,06	36,62	65,7	143445
4-11	5475	4	98,59	70,00	11	81,63	88,47	16,96	18,47	35,4	193979
5-11	7020	5	67,48	74,09	11	81,63	88,47	14,15	14,38	28,5	200281
6-11	6132	6	80,81	70,98	11	81,63	88,47	0,82	17,49	18,3	112277
7-10	1080	7	100,61	120,00	10	81,59	106,58	19,02	13,42	32,4	35035
8-11	2522	8	106,00	94,69	11	81,63	88,47	24,37	6,22	30,6	77148
9-10	540	9	65,61	104,39	10	81,59	106,58	15,98	2,19	18,2	9812
10-11	540	10	81,59	106,58	11	81,63	88,47	0,04	18,11	18,2	9801
11-12	21689	11	81,63	88,47	12	63,36	88,36	18,27	0,11	18,4	398644
											<b>2291900</b>

## 4. Realplanung inklusive Restriktionen

k) Ableiten eines optimalen Real-Layouts (General- und Gebäudestrukturplanung) je Planungsvariante aus einem der beiden Ideal-Blockschemata unter Berücksichtigung aller gegebenen Restriktionen je Planungsvariante inkl. Beschreibung (!) der beiden abgeleiteten Real-Layouts.

FL1- Fabrikplanung: Grundstückssituation

Maßstab 1:500

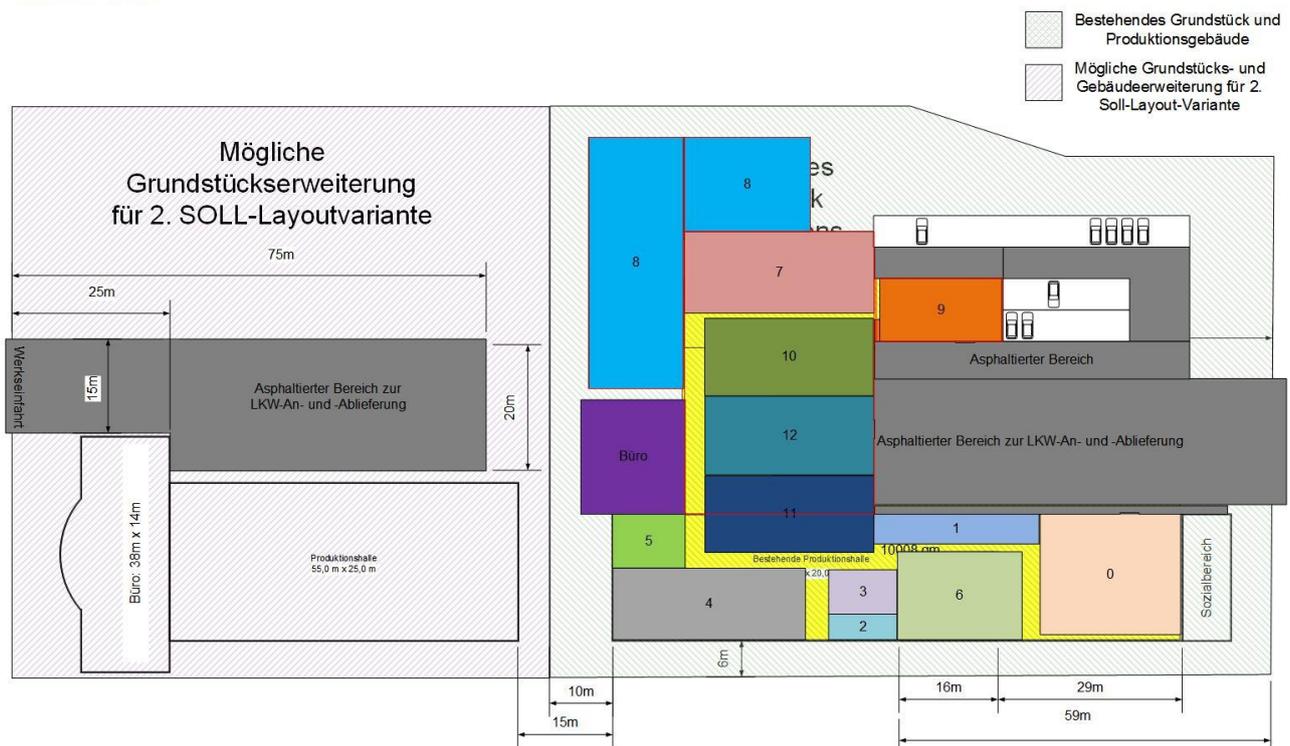


Abbildung 9: Gebäudestruktur Layout 1

Die errechneten SOLL-Flächen für die einzelnen Abteilungen wurden auf den Maßstab 1:500 gebracht und zuerst in die Layoutvariante 1 mit Hilfe des ausgewählten Blockschematas eingepasst. Beachtet wurden hier alle gegebenen Restriktionen. Die benötigten Hallenelemente müssen hierbei einen Mindestabstand von 5m zur Grundstücksgrenze besitzen. Der frühere Bürotrakt wurde nun zum Sozialbereich und ein neues Bürogebäude (300m<sup>2</sup>) wurde möglichst

zentral aufgestellt, um die Informationsflüsse möglichst gering zu halten.. Das Hauptziel war dabei die optimale Ausnutzung der Platzverhältnisse, unter der Verwendung der erlaubten Bauelemente zur Fertigteilhalle, was sehr gut gelungen ist (siehe Flächennutzungsgrad bei der Handlungsempfehlung). Genauer zu den verwendeten Bauelementen (roter, rechteckiger Rahmen) und zusätzlichen asphaltierten Flächen werden bei der Generalbebauungsstruktur erklärt. Ein wichtiger Punkt bei der Anordnung der einzelnen Abteilungen ist der Transportweg für die Waren und das Personal (TW) und der nur für das Personal bestimmt ist (TP). Für die Auslegung wurden die Werte aus der Vorlesung verwendet.

***TW (Transportweg für waren und Personal) = 1,2m (Frongabelstapler) + 1,2m (Gegenverkehr) + 0,8m (Personalweg, TP) + 0,2m (Abtrennung) = 3,4m***

Der Transportweg TW (gelb) wurde überall eingeplant, wo Warentransport statt findet und die Abteilungen nicht direkt nebeneinander liegen. Der Personalweg (TP) muss von den Parkplätzen zum Büro bis in jede Abteilung gegeben sein. Der Zugang zu den Abteilungen und zum Büro erfolgt von einem Eingang neben der Abteilung 9 aus über die Personenwegen. Zwei Abteilungen sind nicht mit dem Transportweg zu erreichen, die Abteilung 0 und 9. Jedoch findet bei der Abt. 0 nur ein Warentransport zur Abteilung 1 statt und kann somit weggelassen werden. Das Selbe gilt für den Transport von Abt. 9 nach 10. Andere Abteilungen sind mit dem Transportweg zu erreichen, liegen oftmals aber auch nebeneinander. Gewählt wurde als Vorlage das Blockschemata 1, da hier bereits eine leichte U-Form gegeben ist und der Transportaufwand ebenfalls geringer ist. Darüber hinaus ist die Abteilung 6 in ihrer Lage nicht veränderbar, jedoch erweiterbar. Der TW konnte durchweg konstant auf 3,4 gehalten werden, der TP wurde auf 0,8 m ausgelegt und ist nur an der Stelle zwischen der Abteilung 0 und 6 breiter (durch die Restriktion von Abteilung 6). Die Abteilungen, welche zur Bearbeitung/Lagerung des E5 dienen (Abt. 7, 9, 10), konnten erfolgreich von den anderen Abteilungen getrennt werden. Die Abteilung 9 wurde als zweites Wareneingangslager und als Bearbeitungsabteilung ausgelegt, wodurch kein Transport mehr von 0 nach 9 stattfinden muss.

FL1- Fabrikplanung: Grundstückssituation

Maßstab 1:500

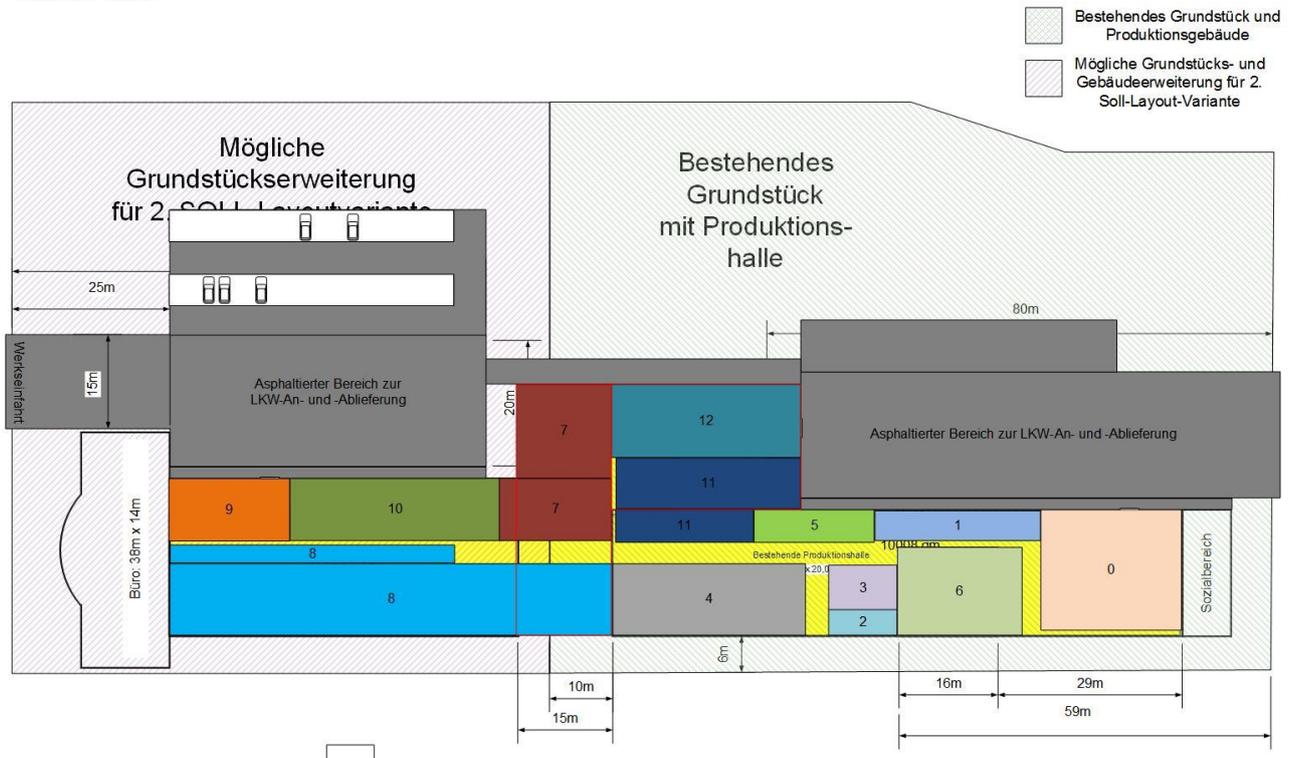


Abbildung 10: Gebäudestruktur Layout 2

Bei der Layoutvariante 2 wird ein benachbartes Grundstück hinzu gekauft, auf welcher sich eine Produktionshalle von 55m x 20m befindet. Für die Verbindung wurden Fertighallenelemente verwendet. Ebenso wie oben, wird das alte Büro zum neuen Sozialtrakt, das neue Büro befindet sich bei dieser Layoutvariante jedoch in der Nachbarhalle. Die Auslegung der Transportwege wurde wie bei der Layoutvariante 1 durchgeführt, TW= 3,4m und TP= 0,8m. Der Hauptunterschied bei Transformation des idealen Blockschemata ist bei der Layoutvariante 2 der Wandel von der U-Form in eine eher lineare Form. Gezielt wurde auch hier darauf geachtet die Abteilungen, welche allein für das Erzeugnis E5 zuständig sind (Abt. 7, 9, 10), vom Rest zu trennen. Auch hier liegen die Abteilungen zwischen den Warentransport statt findet entweder direkt nebeneinander oder es ist ein Transportweg eingeplant. Die Abteilungen 0, 9 und 12 können nicht über den Transportweg erreicht werden, jedoch kann diese Fläche eingespart werden, da die relevanten Abteilungen direkt anschließen (0 nach 1, 9 nach 10, 11 nach 12). Das Personal gelangt auch hier vom Büro direkt in jede einzelne Abteilung. Entscheidend war auch hier der Fokus die Abteilungen 0-6, 11 und 12 möglichst nah beisammen zu halten, da hier der größte Massentransport statt findet und diese durch ihre relativ kleine Fläche nahezu komplett in der alten Abteilung anzuordnen sind.

## FL1- Fabrikplanung: Grundstückssituation

Maßstab 1:500

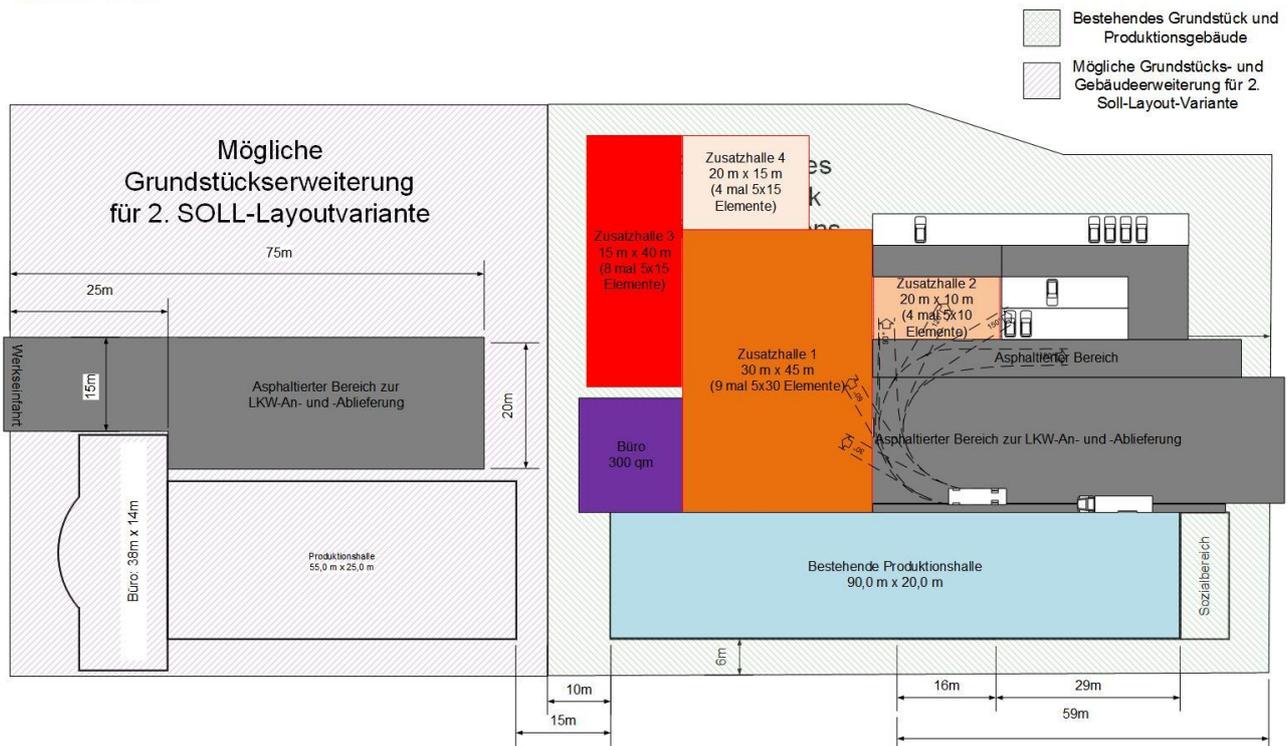


Abbildung 11: Generalstruktur Layout 1

In der Generalstrukturplanung soll hauptsächlich aufgezeigt werden, welche Hallenelemente, Asphaltflächen und Parkplätze hinzugefügt wurden. Die zusätzlichen Hallenelemente für die Generalstrukturplanung zum Layout 1 setzen sich wie folgt zusammen: Die Zusatzhalle 1 mit einer Größe von 2700m<sup>2</sup> (Maße: 30m x 45m bestehend aus neun 5x30 Elementen), die Zusatzhalle 2 mit einer Größe von 200m<sup>2</sup> (Maße: 20m x 10m bestehend aus vier 5x10 Elementen), die Zusatzhalle 3 mit einer Größe von 600m<sup>2</sup> (Maße: 40m x 15m bestehend aus acht 5x15 Elementen) sowie die Zusatzhalle 4 mit einer Größe von 300m<sup>2</sup> (Maße: 20m x 15m bestehend aus vier 5x15 Elementen). Zu beachten war hier, die Elemente so zu wählen, dass die nötigen Tore und Fenster nicht verbaut sind. Ein Tor befindet sich in der bestehenden Produktionshalle (Abteilung 0, dem Wareneingang für alle Rohteile außer T12 und T13), ein weiteres bei der Zusatzhalle 2 (Abt. 9, dem Wareneingang für die Rohteile T12 und T13, den Bestandteilen von E5). Hier müssen Hallenelemente jedoch senkrecht angeordnet werden, damit an der Schmalseite das Tor eingebaut werden kann. Das letzte Tor ist in der Zusatzhalle 1 und dient der Abteilung 12, dem Warenausgang. Entscheidend ist zudem das Kalkulieren des Wendekreises für den LKW und die Restriktion, dass es sich hierbei um einen Sattelzug handle, der nur seitlich Ent- und Beladen

werden kann. Ein Wendekreis von mindestens 25 m ist hierbei nötig, welcher im Layout durch zusätzliche Asphaltflächen erreicht wird. Eine zusätzliche Asphaltfläche um die Abteilung 9 dient letztendlich als Parkplatz für 36 Mitarbeiter.

FL1- Fabrikplanung: Grundstückssituation

Maßstab 1:500

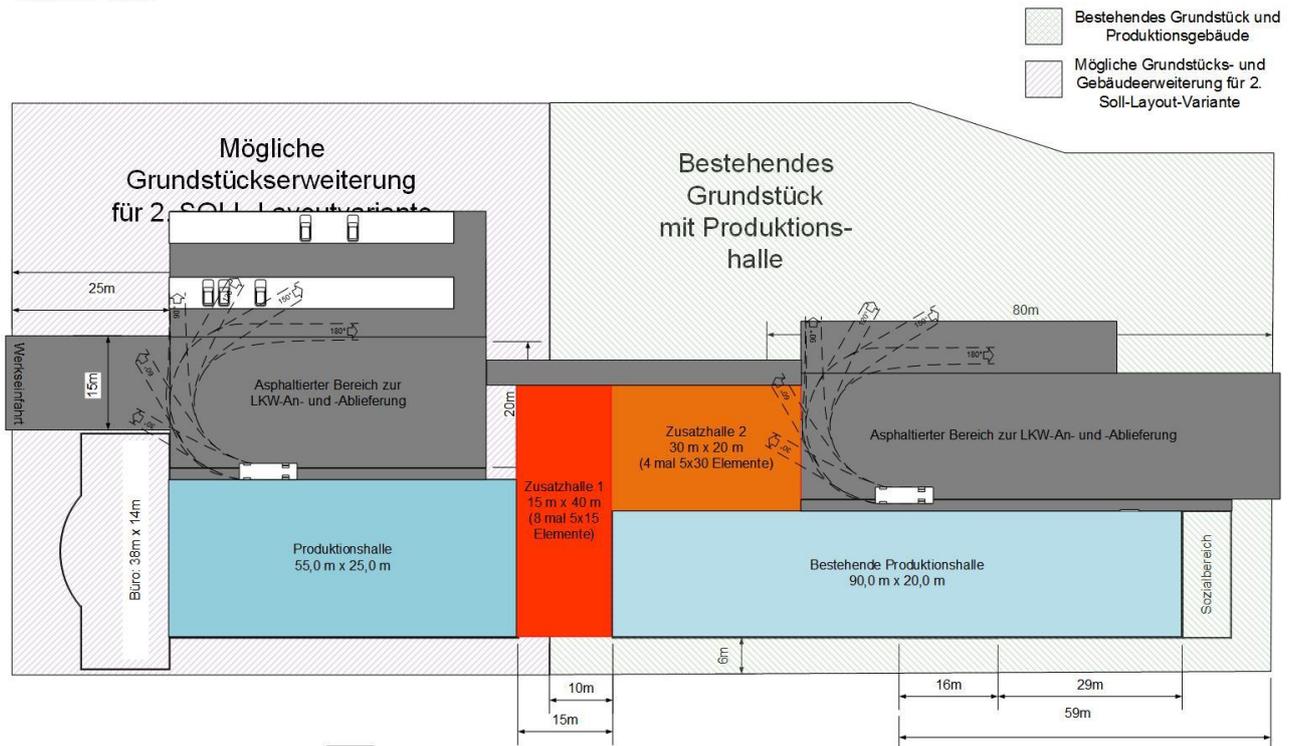


Abbildung 12: Generalstruktur Layout 2

Beim der Generalstrukturplanung für das Layout 2 kommen folgende Elemente zu den beiden alten Produktionshallen hinzu: Die Zusatzhalle 1 mit einer Größe von 600m<sup>2</sup> (Maße: 30m x 20m bestehend aus vier 5x30 Elementen) sowie die Zusatzhalle 2 mit einer Größe von 600m<sup>2</sup> (Maße: 15m x 40m bestehend aus acht 5x15 Elementen). Ebenso wie beim Layout 1 sind auch hier die Tore gewährleistet. Ein Tor befindet sich in der Zusatzhalle 2 (Abt. 12, Warenausgang) und kann hier in einer 5m Schmalseite eines Hallenelementes integriert werden. Ein weiteres Tor befindet sich in der bestehenden Produktionshalle (Abt. 0, Wareneingang für alles außer T12 und T13), sowie in der neuen Produktionshalle (Abt. 9, Wareneingang für T12 und T13). Asphaltiert wurde in erster Linie Flächen unter und oberhalb der bestehenden Asphaltfläche, um den Wendekreis des LKWs zu gewährleisten. Eine zusätzliche große Asphaltfläche befindet sich auf dem neuen Grundstück in der Nähe des Büros, welche als Parkplatz für 36 Mitarbeiter dient. Eine kleine Asphaltfläche in der Mitte soll eine Verbindung darstellen, falls ein LKW beispielsweise Alu und Stahl anliefert. Diese Fläche wurde im Moment einspurig gehalten und müsste vorerst per Ampel/Signal geregelt werden.

**I) Berechnen der Gesamttransport- und Informationsaufwände unter Berücksichtigung der Vorgaben zur Ermittlung des Transport- und Informationsaufwands je Reallayout-Variante.**

Die Berechnung des Transportaufwands erfolgt über die Summe der x- und y-Abstände im Koordinatensystem. Dabei wurden zunächst durch Subtraktion der x- und y-Koordinaten der beiden Stationen, die Abstände und somit die Transportwege zwischen den Stationen ermittelt und mit den jeweiligen Massenbewegungen multipliziert. Die Summen der einzelnen Transportaufwände bilden den Gesamttransportaufwand. Die Tabellen Tabelle 24 und Tabelle 25 stellen die Transportaufwendungen der beiden Layoutvarianten systematisch dar.

Beispiel von 0 nach 1:

$$\begin{aligned}
 \text{Transportaufwand } 0-1 &= m_{0-1} * [|x_0 - x_1| + |y_0 - y_1|] \\
 &= 21140\text{kg} * [|179,0\text{m} - 154,6\text{m}| + |40,4\text{m} - 47,6\text{m}|] = 668943 \text{ kg*m}
 \end{aligned}$$

Tabelle 24: Transportaufwand Layout 1

LAYOUT 1		Koordinaten [m]			Koordinaten [m]			Abstände [m]			Gesamt
von/nach	kg	Abt.	x	y	Abt.	x	y	x	y	Summe	kg*m
0-1	21149	0	179,0	40,4	1	154,6	47,6	24,4	7,2	31,6	668943
1-2	3546	1	154,6	47,6	2	139,8	32,0	14,8	15,6	30,4	107905
1-3	11088	1	154,6	47,6	3	139,8	37,5	14,8	10,1	24,9	276424
1-4	375	1	154,6	47,6	4	115,5	35,7	39,1	11,9	51,0	19140
1-5	5616	1	154,6	47,6	5	105,6	46,0	49,0	1,6	50,6	284338
1-6	420	1	154,6	47,6	6	155,1	37,0	0,5	10,6	11,1	4675
1-8	260	1	154,6	47,6	8	114,5	90,0	40,1	42,4	82,5	21447
2-4	900	2	139,8	32,0	4	115,5	35,7	24,3	3,7	28,0	25191
2-5	1404	2	139,8	32,0	5	105,6	46,0	34,2	14,0	48,2	67673
2-6	1008	2	139,8	32,0	6	155,1	37,0	15,3	5,0	20,3	20462
2-8	234	2	139,8	32,0	8	114,5	90,0	25,3	58,0	83,3	19497
3-4	4200	3	139,8	37,5	4	115,5	35,7	24,3	1,8	26,1	109662
3-6	4704	3	139,8	37,5	6	155,1	37,0	15,3	0,5	15,8	74323
3-8	2184	3	139,8	37,5	8	114,5	90,0	25,3	52,5	77,8	169959
4-11	5475	4	115,5	35,7	11	128,2	50,0	12,7	14,3	27,0	147880
5-11	7020	5	105,6	46,0	11	128,2	50,0	22,6	4,0	26,6	186732
6-11	6132	6	155,1	37,0	11	128,2	50,0	26,9	13,0	39,9	244667
7-10	1080	7	126,6	88,5	10	128,2	75,0	1,6	13,5	15,1	16308
8-11	2522	8	114,5	90,0	11	128,2	50,0	13,7	40,0	53,7	135482
9-10	540	9	151,8	82,5	10	128,2	75,0	23,6	7,5	31,1	16794
10-11	540	10	128,2	75,0	11	128,2	50,0	0,0	25,0	25,0	13500
11-12	21689	11	128,2	50,0	12	128,2	62,5	0,0	12,5	12,5	271113
											<b>2902114</b>

Tabelle 25: Transportaufwand Layout 2

LAYOUT 2		Koordinaten [m]			Koordinaten [m]			Abstände [m]			Gesamt
von/nach	kg	Abt.	x	y	Abt.	x	y	x	y	Summe	kg*m
0-1	21149	0	179,1	40,4	1	154,8	47,4	24,3	7,0	31,3	662598
1-2	3546	1	154,8	47,4	2	139,8	32,0	15,0	15,4	30,4	107905
1-3	11088	1	154,8	47,4	3	139,8	37,5	15,0	9,9	24,9	276424
1-4	375	1	154,8	47,4	4	115,5	35,7	39,3	11,7	51,0	19140
1-5	5616	1	154,8	47,4	5	132,1	47,4	22,7	0,0	22,7	127652
1-6	420	1	154,8	47,4	6	155,2	37,0	0,3	10,4	10,8	4528
1-8	260	1	154,8	47,4	8	65,2	37,2	89,6	10,2	99,8	25958
2-4	900	2	139,8	32,0	4	115,5	35,7	24,3	3,7	28,0	25191
2-5	1404	2	139,8	32,0	5	132,1	47,4	7,7	15,4	23,1	32432
2-6	1008	2	139,8	32,0	6	155,2	37,0	15,4	5,0	20,4	20513
2-8	234	2	139,8	32,0	8	65,2	37,2	74,6	5,2	79,8	18671
3-4	4200	3	139,8	37,5	4	115,5	35,7	24,3	1,8	26,1	109662
3-6	4704	3	139,8	37,5	6	155,2	37,0	15,4	0,5	15,9	74558
3-8	2184	3	139,8	37,5	8	65,2	37,2	74,6	0,3	74,9	163603
4-11	5475	4	115,5	35,7	11	115,3	51,5	0,2	15,8	16,0	87436
5-11	7020	5	132,1	47,4	11	115,3	51,5	16,8	4,1	20,9	146437
6-11	6132	6	155,2	37,0	11	115,3	51,5	39,8	14,5	54,3	333029
7-10	1080	7	91,2	57,1	10	65,8	50,0	25,4	7,1	32,5	35111
8-11	2522	8	65,2	37,2	11	115,3	51,5	50,1	14,3	64,5	162543
9-10	540	9	39,6	50,0	10	65,8	50,0	26,2	0,0	26,2	14148
10-11	540	10	65,8	50,0	11	115,3	51,5	49,5	1,5	51,0	27562
11-12	21689	11	115,3	51,5	12	115,0	64,2	0,3	12,7	13,0	281740
											<b>2756841</b>

Der Gesamt-Informationsaufwand beschreibt die Summe der Abstände zwischen dem Büro und den einzelnen Abteilungen. Die Berechnung des Informationsaufwandes verläuft analog zu der Berechnung des Transportaufwands über die Summen der x- und y-Abstände.

Beispiel Informationsaufwand zwischen Büro und Abteilung 0:

$$\begin{aligned} \text{Informationsaufwand B-0} &= |x_B - x_0| + |y_B - y_0| \\ &= |103,5m - 179m| + |59,1m - 40,4m| = 94,3m \end{aligned}$$

Tabelle 26: Informationsaufwand Layout 1

LAYOUT 1		Koordinaten [m]			Koordinaten [m]		Abstände [m]		
von/nach	Abt.	x	y	Abt.	x	y	x	y	Summe
B-0	B	103,5	59,1	0	179,0	40,4	75,6	18,7	94,3
B-1	B	103,5	59,1	1	154,6	47,6	51,2	11,5	62,6
B-2	B	103,5	59,1	2	139,8	32,0	36,4	27,1	63,5
B-3	B	103,5	59,1	3	139,8	37,5	36,4	21,6	58,0
B-4	B	103,5	59,1	4	115,5	35,7	12,1	23,4	35,5
B-5	B	103,5	59,1	5	105,6	46,0	2,1	13,1	15,3
B-6	B	103,5	59,1	6	155,1	37,0	51,7	22,1	73,8
B-7	B	103,5	59,1	7	114,5	90,0	11,0	30,9	41,9
B-8	B	103,5	59,1	8	115,5	35,7	12,1	23,4	35,5
B-9	B	103,5	59,1	9	151,8	82,5	48,4	23,4	71,8
B-10	B	103,5	59,1	10	128,2	75,0	24,8	15,9	40,7
B-11	B	103,5	59,1	11	128,2	50,0	24,8	9,1	33,9
B-12	B	103,5	59,1	12	128,2	62,5	24,8	3,4	28,2
									<b>654,5</b>

Tabelle 27: Informationsaufwand Layout 2

LAYOUT 2		Koordinaten [m]			Koordinaten [m]		Abstände [m]		
von/nach	Abt.	x	y	Abt.	x	y	x	y	Summe
B-0	B	23,0	43,5	0	179,1	40,4	156,1	3,1	159,2
B-1	B	23,0	43,5	1	154,8	47,4	131,8	3,9	135,7
B-2	B	23,0	43,5	2	139,8	32,0	116,8	11,5	128,3
B-3	B	23,0	43,5	3	139,8	37,5	116,8	6,0	122,8
B-4	B	23,0	43,5	4	115,5	35,7	92,5	7,8	100,3
B-5	B	23,0	43,5	5	132,1	47,4	109,1	3,9	113,0
B-6	B	23,0	43,5	6	155,2	37,0	132,2	6,5	138,7
B-7	B	23,0	43,5	7	65,2	37,2	42,2	6,3	48,5
B-8	B	23,0	43,5	8	115,5	35,7	92,5	7,8	100,3
B-9	B	23,0	43,5	9	39,6	50,0	16,6	6,5	23,1
B-10	B	23,0	43,5	10	65,8	50,0	42,8	6,5	49,3
B-11	B	23,0	43,5	11	115,3	51,5	92,3	8,0	100,3
B-12	B	23,0	43,5	12	115,0	64,2	92,0	20,7	112,7
									<b>1332,2</b>

## m) Berechnen der Layout-Gesamtkosten anhand der unterschiedlichen Kostenpositionen je Reallayout-Variante

Die Gesamtkosten je Layout Variante ergeben sich aus den folgenden Kostenpositionen:

- Kosten für Transportaufwand zwischen Abteilungen
- Kosten für Informationsaufwand zwischen Büro und jeder Abteilung
- Kosten der Hallenelemente für Zubau/Verbindungsbau
- Kosten für zus. zu asphaltierende Fläche
- Spezifische Fix-Kosten je Layoutvariante

### Gesamtkosten Layout 1

In der ersten Layout-Variante wurden vier weitere Hallenelemente zu dem bestehenden Gebäude dazugebaut um den prognostizierten Bedarf gerecht zu werden. Die Zusatzhalle 1 mit einer Größe von 2700m<sup>2</sup> (Maße: 30m x 45m bestehend aus neun 5x30 Elementen), die Zusatzhalle 2 mit einer Größe von 200m<sup>2</sup> (Maße: 20m x 10m bestehend aus vier 5x10 Elementen), die Zusatzhalle 3 mit einer Größe von 600m<sup>2</sup> (Maße: 40m x 15m bestehend aus acht 5x15 Elementen) sowie die Zusatzhalle 4 mit einer Größe von 300m<sup>2</sup> (Maße: 20m x 15m bestehend aus vier 5x15 Elementen). Daraus ergibt sich für die Gesamtfläche der zusätzlichen Hallenelemente:

$$\text{Gesamtfläche zus.Hallenelemente} = 2700\text{m}^2 + 200\text{m}^2 + 600\text{m}^2 + 300\text{m}^2 = 3800\text{m}^2$$

Multipliziert man diese Fläche mit den Kosten pro Quadratmeter Hallenelemente so erhält man einmal anfallende Zubau Kosten von:

$$\text{Kosten zus.Hallenelemente} = 185 \text{ €/m}^2 \times 3800\text{m}^2 = 703.000,00\text{€}$$

Weiterhin wurde die Asphaltfläche für zusätzliche Parkflächen, Anbindungen, Zufahrten etc. um 1166m<sup>2</sup> erweitert. Daraus folgen bei einem Preis von 35€/m<sup>2</sup> für Asphaltflächen einmal anfallende Kosten von:

$$\text{Kosten zus. Asphaltierte Fläche} = 35\text{€/m}^2 \times 1166\text{m}^2 = 40.795,65\text{€}$$

Der Transportaufwand für das erste Layout wurden in der Tabelle 24 bereits ermittelt. Bei einem angenommenen Preis von 0,07€/(kg\*m) ergeben sich jährliche Kosten von:

$$\text{Transportkosten} = 2902114\text{kg} \cdot \text{m} \times 0,07\text{€}/(\text{kg} \cdot \text{m}) = 203.147,95\text{€/Jahr}$$

Der Informationsaufwand für das erste Layout wurde in der Tabelle 26 bestimmt. Bei einem angenommenen Preis von 30€/m ergeben sich jährliche Informationskosten von:

$$\text{Informationskosten} = 654,5\text{m} \times 30\text{€/m} = 19.635,60 \text{ €/Jahr}$$

Die Spezifischen Kosten für die Layout Variante 1 betragen 550.500,00€ und setzen sich aus dem Bau eines neuen Bürogebäudes und den Sozialbereich zusammen. Die Gesamtkosten für das Layout 1 im 1.Jahr sind in Tabelle 28 dargestellt.

Tabelle 28: Layout Gesamtkosten - Variante 1

	Einheit	Layout Variante 1	Werte Var. 1		in Euro (1.Jahr)
Durchrechnungszeitraum	Jahre	6.00			
Kosten zus. Hallenelemente	€/m <sup>2</sup>	185.00	3800	m <sup>2</sup>	703.000,00
Kosten zus. asphaltierte Fläche	€/m <sup>2</sup>	35.00	1166	m <sup>2</sup>	40.795,65
Transportkosten	€/(kg*m)	0.07	2902113.62	kg*m	203.147,95
Informationsaufwand	€/m/Jahr	30.00	654.5	m/Jahr	19.635,60
Spez. Kosten je Layoutvariante	€	550,500.00			550.500,00
					<b>1.517.079,20</b>

Aufgrund der Tatsache, dass die Kosten für Hallenelemente, Asphaltflächen und die speziellen Kosten nur im ersten Jahr anfallen, steigen die Kosten jährlich nur um den Betrag der Transport- und Informationskosten in Höhe von 222.783.55€ (Tabelle 29).

Tabelle 29: Layout Gesamtkosten Variante 1 über 6 Jahre

Jahr	Layout 1
1	1.517.079,20
2	1.739.862,76
3	1.962.646,31
4	2.185.429,86
5	2.408.213,42
6	2.630.996,97

### Gesamtkosten Layout 2

In der zweiten Layout-Variante wurden zwei weitere Hallenelemente dazugebaut um die beiden Hallen miteinander zu verbinden. Die Zusatzhalle 1 mit einer Größe von 600m<sup>2</sup> (Maße: 30m x 20m bestehend aus vier 5x30 Elementen) sowie die Zusatzhalle 2 mit einer Größe von 600m<sup>2</sup> (Maße: 15m x 40m bestehend aus acht 5x15 Elementen). Daraus ergibt sich für die Gesamtfläche der zusätzlichen Hallenelemente:

$$\text{Gesamtfläche zus. Hallenelemente} = 600\text{m}^2 + 600\text{m}^2 = 1200\text{m}^2$$

Multipliziert man diese Fläche mit den Kosten pro Quadratmeter Hallenelemente so erhält man einmal anfallende Zubau Kosten von:

**Kosten zus.Hallenelemente = 185 €/m<sup>2</sup> x 3800m<sup>2</sup> = 222.000,00€**

Weiterhin wurde die Asphaltfläche für zusätzliche Parkflächen, zur Verbindung der zwei Grundstücke, für Zufahrten etc. um 5176m<sup>2</sup> erweitert. Daraus folgen bei einem Preis von 35€/m<sup>2</sup> für Asphaltflächen einmal anfallende Kosten von:

**Kosten zus. Asphaltierte Fläche = 35€/m<sup>2</sup> x 5176m<sup>2</sup> = 181.145,30€**

Der Transportaufwand für das erste Layout wurden in der Tabelle 25 ermittelt. Bei einem angenommenen Preis von 0,07€/(kg\*m) ergeben sich jährliche Kosten von:

**Transportkosten = 2.756.841kg\*m x 0,07€/(kg\*m) = 192.978,85€/Jahr**

Der Informationsaufwand für das zweite Layout wurde in der Tabelle 27 bestimmt. Bei einem angenommenen Preis von 30€/m ergeben sich jährliche Informationskosten von:

**Informationskosten = 1332,2m x 30€/m = 39.966€/Jahr**

Die Spezifischen Kosten für die Layout Variante 2 betragen 1.250.000,00€ und setzen sich aus dem Kosten für das benachbartes Grundstück + Nebenhalle inkl. Bürotrakt, Sozialbereich zusammen. Die Gesamtkosten für das Layout 2 im 1.Jahr sind in Tabelle 30 dargestellt.

Tabelle 30: Layout Gesamtkosten – Variante 2

	Einheit	Layout Variante 2	Werte Var. 2		in Euro (1.Jahr)
<b>Durchrechnungszeitraum</b>	Jahre	6.00			
<b>Kosten zus. Hallenelemente</b>	€/m <sup>2</sup>	185.00	1200	m <sup>2</sup>	222.000,00
<b>Kosten zus. asphaltierte Fläche</b>	€/m <sup>2</sup>	35.00	5176	m <sup>2</sup>	181.145,30
<b>Transportkosten</b>	€/(kg*m)	0.07	2756840.65	kg*m	192.978,85
<b>Informationsaufwand</b>	€/m/Jahr	30.00	1332.2	m/Jahr	39.966,00
<b>Spez. Kosten je Layoutvariante</b>	€	1,250,000.00			1.250.000,00
					<b>1.886.090,15</b>

Auch in der zweiten Variante steigen die Kosten jährlich nur um den Betrag der Transport- und Informationskosten. In diesem Fall in Höhe von 232.944,85€ (Tabelle 31).

Tabelle 31: Layout Gesamtkosten Variante 2 über 6 Jahre

Jahr	Layout 2
1	1.886.090,15
2	2.119.034,99
3	2.351.979,84
4	2.584.924,68
5	2.817.869,53
6	3.050.814,37

## n) Strukturierte Gegenüberstellung der beiden Reallayout-Varianten und Beschreibung der Vor- und Nachteile je Reallayout-Variante

### Transport- und Informationsaufwand:

Das zweite Layout besitzt aufgrund der etwas kompakteren Bauweise einen geringeren Transportaufwand als das erste Layout. Ein Nachteil ist jedoch, dass aufgrund der Gegebenheiten von Variante 2, es nicht möglich war das Bürogebäude anders zu positionieren. Dadurch dass das neue Bürogebäude im ersten Layout sehr zentral und in der Nähe der wichtigsten Abteilungen liegt, ist der Informationsaufwand bei Variante 1 geringer als bei Variante 2.

### Grundstücksauslastung:

In der ersten Layout-Variante wäre das Grundstück nahe zu komplett bebaut und ausgenutzt, so dass weitere Bebauung kaum noch möglich wäre. In der zweiten Variante würde es noch ungenutzte Flächen, so dass das Grundstück weniger ausgelastet wäre. Dies könnte jedoch zum Vorteil werden falls es zu einer weiteren Expansion kommen würde.

### Verkehrsanbindung:

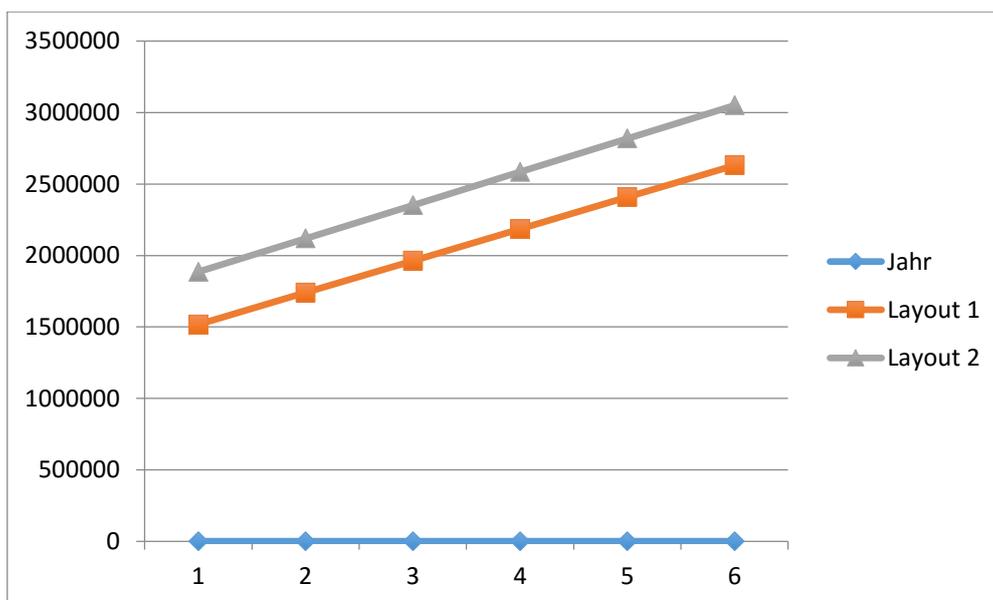
Aus Verkehrssicht ist das zweite Layout deutlich besser geeignet. Es sind zwei Zufahrten für LKWs und für Mitarbeiter vorhanden d.h. Stahl- und Alu-Rohteilelieferungen können auf beiden Seiten parallel durchgeführt werden ohne dass zu Koordinationsschwierigkeiten kommt. Außerdem ist eine Durchfahrt von einem Grundstück zum anderen möglich, was z.B. auch die Anfahrt für Mitarbeiter erleichtern kann. Auf der anderen Seite sind dadurch auch die Kosten für zu asphaltierende Flächen wesentlich höher.

**Gesamtkosten:**

*Tabelle 32: Kostengegenüberstellung der beiden Layout-Varianten*

	Lay. 1 in €	Lay. 2 in €
<b>Durchrechnungszeitraum</b>	6 Jahre	6 Jahre
<b>Kosten zus. Hallenelemente</b>	703.000,00	222.000,00
<b>Kosten zus. asphaltierte Fläche</b>	40.795,65	181.145,30
<b>Transportkosten</b>	6x203.147,95	6x192.978,85
<b>Informationsaufwand</b>	6x19.635,60	6x39.966,00
<b>Spez. Kosten je Layoutvariante</b>	550,500.00	1,250,000.00
	<b>2.630.966,97</b>	<b>3.050.814,37</b>

Aus Kostensicht liegt der Vorteil klar bei der ersten Layout-Variante. Zum einen sind die Investitionskosten für neue Hallenteile geringer als der Zukauf des Grundstück + der zweiten Halle, sodass die zweite Variante schon im ersten Jahr teurer wird. Zum anderen sind die jährlich anfallenden Kosten von 232.944,85€ aufgrund des hohen Informationsaufwandes ebenfalls höher als in der ersten Variante mit 222.783,55€. Das bedeutet, dass die Layout Variante 2 pro Jahr rund 10Tsd € teurer ist als Variante 1. Abbildung 13 veranschaulicht, dass die beiden Kostenverläufe über die Jahre hinweg minimal auseinander driften.



*Abbildung 13: Kostenverlauf der Layoutvarianten*

	Layout 1	Layout 2
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geringerer Informationsaufwand</li> <li>- Büro liegt Zentral</li> <li>- Hohe Auslastung des Grundstück</li> <li>- Geringere Gesamtkosten</li> <li>- Zukauf von Grundstück 2 ist evtl auch später noch möglich</li> <li>- Personal muss nicht über Anlieferungsfläche gehen</li> <li>- Nur Abt. 11 und 8 ziehen sich Säulen durch die Abteilung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geringerer Transportaufwand</li> <li>- Zubau bei weiterer Expansion möglich</li> <li>- Zwei Zufahrten -&gt; bessere Koordination und Erreichbarkeit</li> </ul>
<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kein Zubau bei Expansion mehr möglich</li> <li>- Nur eine Zufahrt -&gt; schlechtere Verkehrsanbindung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Höhere Gesamtkosten</li> <li>- Deutlich höherer Informationsaufwand</li> <li>- Deutlich höhere Investitionskosten</li> <li>- Abteilung 7,8 und 11 werden von Säulen durchzogen</li> </ul>

## 5. Handlungsempfehlung

### o) Begründete Auswahl der optimalen Reallayout-Variante

Nachdem alle Vor- und Nachteile der beiden Varianten betrachtet und gegeneinander abgewägt wurden, empfehlen wir einen Hallenzubau mit neuem Bürogebäude am bestehenden Grundstück, sprich die Layout-Variante 1. Der ausschlaggebende Vorteil dieser Alternative liegt auf der Kostenseite, da dieses Layout die Anforderungen und Restriktionen zu etwa 85% der Kosten von Alternative 2 erfüllt. Da derzeit keine weiteren Expansionspläne für die nächsten Jahre vorliegen, ist das jetzigen Grundstück für den steigenden Bedarf vollkommen ausreichend.

Zur Überprüfung, ob ein optimales Layout erstellt wurde, wurde ein Materialfluss für jedes Erzeugnis (Roter Pfeil) und Rohmaterial (Schwarzer Pfeil) eingezeichnet. Es ist zu erkennen, dass die Abteilungen zwischen denen Warentransporte stattfinden möglich beieinander liegen und das Erzeugnis 5 erfolgreich von den anderen Erzeugnissen getrennt werden konnte.

Zum Vergleich, wie gut die Flächen im Reallayout ausgenutzt wurden, wurden die SOLL-Ideal- und SOLL-Real-Flächen gegenübergestellt sowie der Flächennutzungsgrad berechnet. Dieser liegt bei allen Abteilungen um 100% herum.

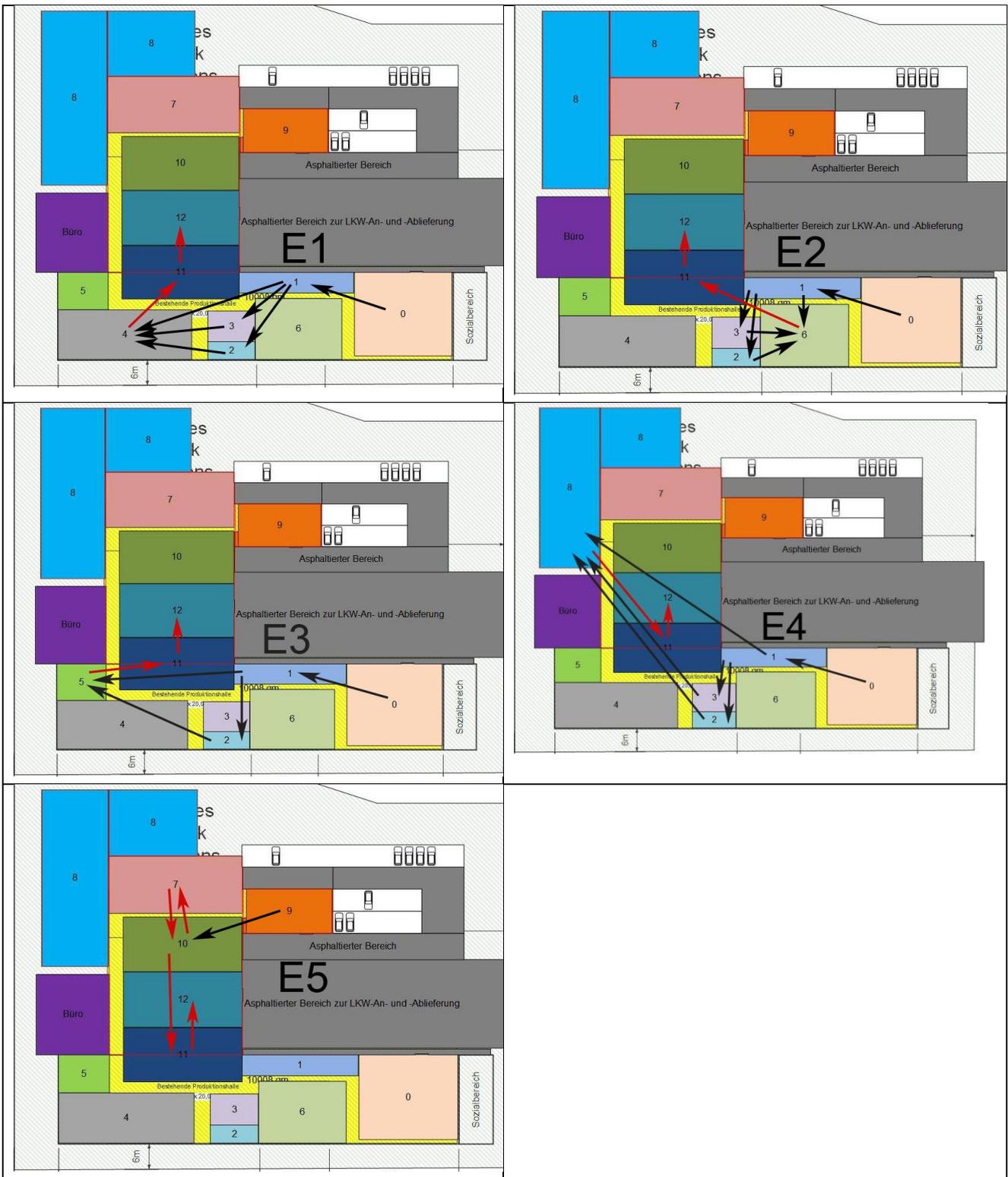


Abbildung 14: Materialfluss der einzelnen Erzeugnisse

Tabelle 33: Flächennutzungsgrad Layout 1

	Ideal	R_Breite	R-Höhe	Fläche	Flächennutzungsgrad
<b>0</b>	427	22,24	19,2	427,008	99,97
<b>1</b>	124	26,16	4,74	123,9984	100,05
<b>2</b>	44	10,8	4,07	43,956	99,69
<b>3</b>	79	10,8	7,31	78,948	100,25
<b>4</b>	347	30,47	11,38	346,7486	100,07
<b>5</b>	99	11,5	8,61	99,015	100,02
<b>6</b>	276	19,71	14	275,94	99,98
<b>7</b>	390	30	13	390	100,00
<b>8 (Teil 2)</b>	926	15	40	600	102,92
<b>8 (Teil 1)</b>		20	15	300	
<b>9</b>	190	19,4	10	194	97,94
<b>10</b>	330	26,7	12,36	330,012	100,00
<b>11</b>	326	26,7	12,21	326,007	100,08
<b>12</b>	334	26,7	12,51	334,017	100,08

## Anhang:

### Zu h) Vollständige Tabellen zum Dreiecksverfahren

Tabelle 34: Dreiecksverfahren Schritte 3 -8

Abteilung	0	1	2	3	4	7	8	9	10
6		420	1008	4704					
5		5616	1404						
11					5475		2522		540
12									
Summe	0	6036	2412	4704	5475	0	2522	0	540

Abteilung	0	2	3	4	7	8	9	10
1	21149	3546	11088	375		104		
6		1008	4704					
5		1404						
11				5475		2522		540
12								
Summe	21149	5958	15792	5850	0	2626	0	540

Abteilung	2	3	4	7	8	9	10
0							
1	3546	11088	375		104		
6	1008	4704					
5	1404						
11			5475		2522		540
12							
Summe	5958	15792	5850	0	2626	0	540

Abteilung	2	4	7	8	9	10
3		4200		2184		
0						
1	3546	375		104		
6	1008					
5	1404					
11		5475		2522		540
12						
Summe	5958	10050	0	4810	0	540

Abteilung	2	7	8	9	10
4	900				
3			2184		
0					
1	3546		104		
6	1008				
5	1404				
11			2522		540
12					
Summe	6858	0	4810	0	540

Abteilung	7	8	9	10
2		234		
4				
3		2184		
0				
1		104		
6				
5				
11		2522		540
12				
Summe	0	4810	0	540

Abteilung	7	9	10
8			
2			
4			
3			
0			
1			
6			
5			
11			540
12			
Summe	0	0	540

Abteilung	7	9
10	1080	540
8		
2		
4		
3		
0		
1		
6		
5		
11		
12		
Summe	1080	540