Ablaufplanung („Scheduling“)

α Produktionsprozessstruktur

β Auftragszugang

β Bearbeitungsprozess

γ Zielsetzungen

Notation von Graham, Lawler, Lenstra und Rinnooy Kan

$$\alpha|\beta|\gamma$$

Produktionsprozessstruktur

1 eine Maschine (Single-Machine Scheduling)

Pm mehrere parallele Maschinen (Parallel-Machine Scheduling)

Fm Reihenproduktion (Flow-Shop Scheduling)

Jm Werkstattproduktion (Job-Shop Scheduling)

- general job shop
- re-entrant flow

Om Open-Shop Scheduling

Auftragseingang

- statisch
- dynamisch
  - deterministisch
  - stochastisch

Bearbeitungszeiten

- deterministisch
- stochastisch

Zielsetzung

- auftragsbezogen
  - Durchlaufzeiten
  - Wartezeiten
  - Lagerdauern
  - Transportzeiten
  - Liefertermine
  - Terminüberschreitungen
  - Terminabweichungen
- ressourcenbezogen
  - Kapazitätsauslastung
  - Gesamtbelegungsdauer
  - Rüstzeiten
  - Leerzeiten

Durchlaufzeit eines Auftrags p

$$\begin{aligned} D_p &= \text{Fertigstellungstermin}_p - \text{Ankunftszeitpunkt}_p \\ &= \sum_{m=1}^{M} (t_{pm} + w_{pm} + a_{pm}) \end{aligned} \qquad (p = 1, \ldots, P)$$

Gesamtdurchlaufzeit aller Aufträge

$$D = \sum_{p=1}^{P} \sum_{m=1}^{M} (t_{pm} + w_{pm} + a_{pm})$$

mittlere Durchlaufzeit aller Aufträge

$$\overline{D} = \frac{D}{P}$$

Durchlaufzeit eines Auftrags p

$$\begin{aligned} D_p &= \text{Fertigstellungstermin}_p - \text{Ankunftszeitpunkt}_p \\ &= \sum_{m=1}^{M} \left(t_{pm} + w_{pm} + a_{pm}\right) \qquad (p = 1, \ldots, P) \end{aligned}$$

Gesamtwartezeit aller Aufträge

$$W = \sum_{p=1}^{P} \sum_{m=1}^{M} w_{pm}$$

mittlere Wartezeit aller Aufträge

$$\overline{W} = \frac{W}{P}$$

Durchlaufzeit eines Auftrags p

$$
\begin{aligned}
D_p &= \text{Fertigstellungstermin}_p - \text{Ankunftszeitpunkt}_p \\
&= \sum_{m=1}^{M} (t_{pm} + w_{pm} + a_{pm}) \qquad (p = 1, \ldots, P)
\end{aligned}
$$

Zykluszeit (Makespan)

$$
C = \max_p \{D_p\}
$$

Terminüberschreitung (Verspätung, Tardiness)

$$
V_p = \max \left\{\text{Fertigstellungstermin}_p - \text{Plantermin}_p, 0\right\} \qquad (p = 1, \ldots, P)
$$

Gesamt-Terminüberschreitung (Summe der Verspätungen)

$$
V = \sum_{p=1}^{P} V_p = \sum_{p=1}^{P} \max \left\{\text{Fertigstellungstermin}_p - \text{Plantermin}_p, 0\right\}
$$

Kapazität der Ressourcen

$$G = \sum_{m=1}^{M} \sum_{p=1}^{P} a_{pm} + \sum_{m=1}^{M} \text{Leerzeit an Maschine } m$$

produktiv genutzte Zeit

$$B = \sum_{m=1}^{M} \sum_{p=1}^{P} a_{pm}$$

Auslastung

$$U = \frac{B}{G}$$

Gesamt-Leerzeit

$$L = \sum_{m=1}^{M} \text{Leerzeit an Maschine } m$$

Ablaufplanung: Übergeordnete Zielgrößen

- Bestand $\Longrightarrow$ Kapitalbindung
- termingerechte Auslieferung $\Longrightarrow$ Kundenservice
- Auslastung $\Longrightarrow$ Kapazitätsnutzung

Littles Gesetz

$$\text{mittlerer Bestand} = \text{Abgangsrate} \cdot \text{mittlere Durchlaufzeit}$$

„Dilemma der Ablaufplanung“ (Gutenberg)

Bei dynamisch-stochastischem Auftragseingang steigt die Durchlaufzeit (und damit der Bestand, s. Littles Gesetz), wenn die Auslastung maximiert werden soll.

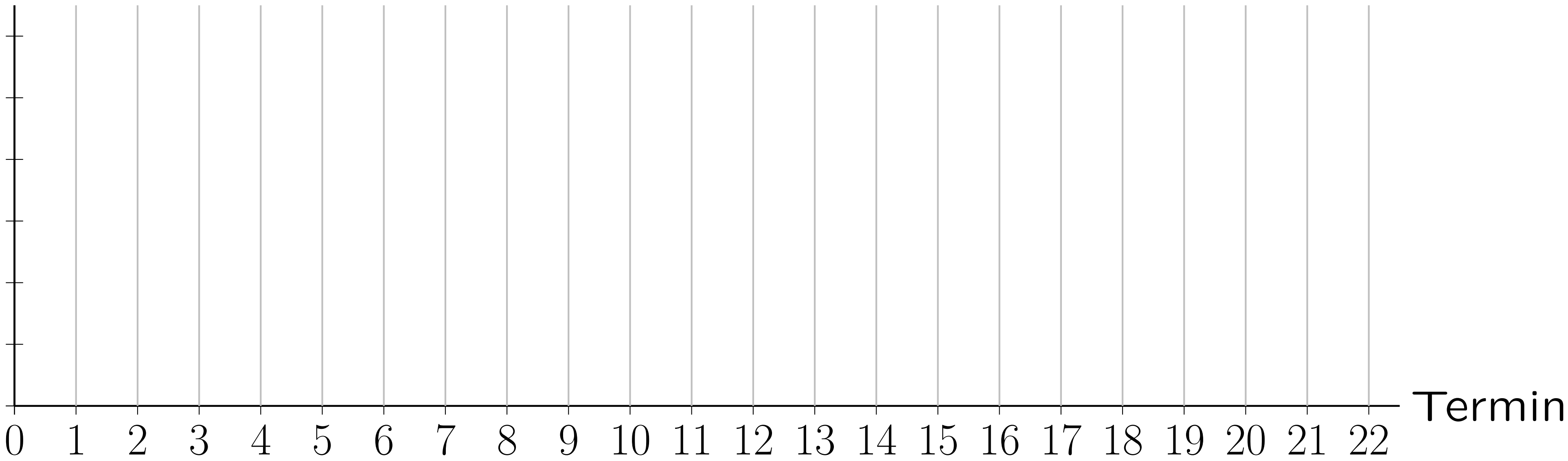
Ablaufplanung für nur eine Maschine

Planungssituation:

- deterministische Bearbeitungszeiten
- Notation der Kurzbeschreibung des jeweils betrachteten Spezialproblems:
  $1|$[Anzahl Aufträge]$/$[Auftragseingang]$\|$[Zielgröße]

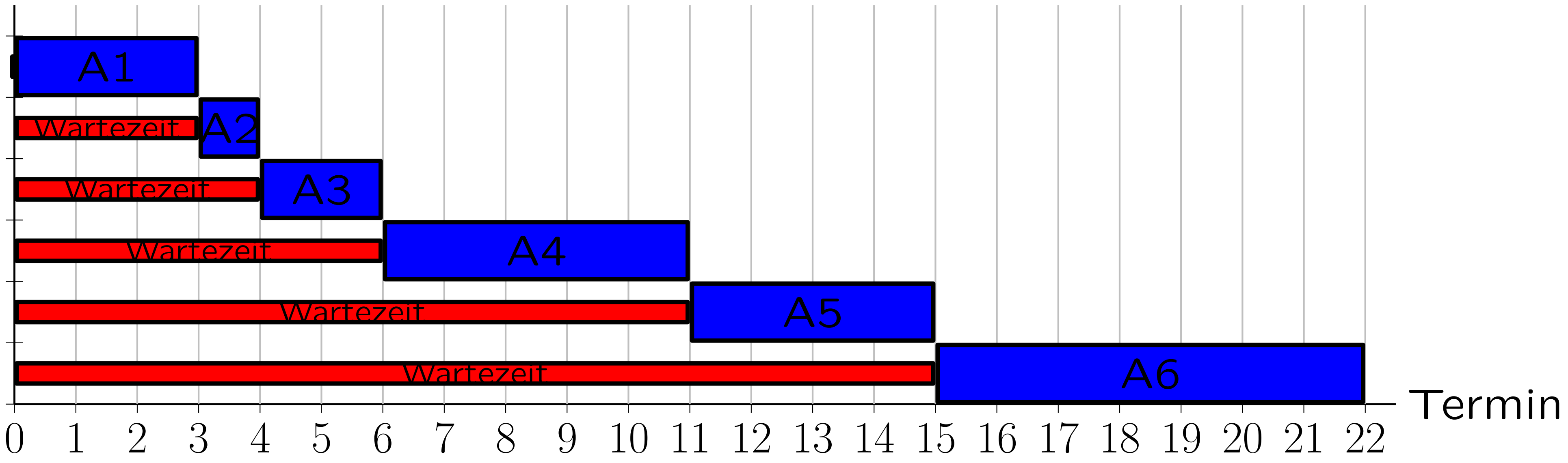
Beispiel **6 Aufträge**

Auftrag p	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Bearbeitungszeit a_p	3 ZE	1 ZE	2 ZE	5 ZE	4 ZE	7 ZE



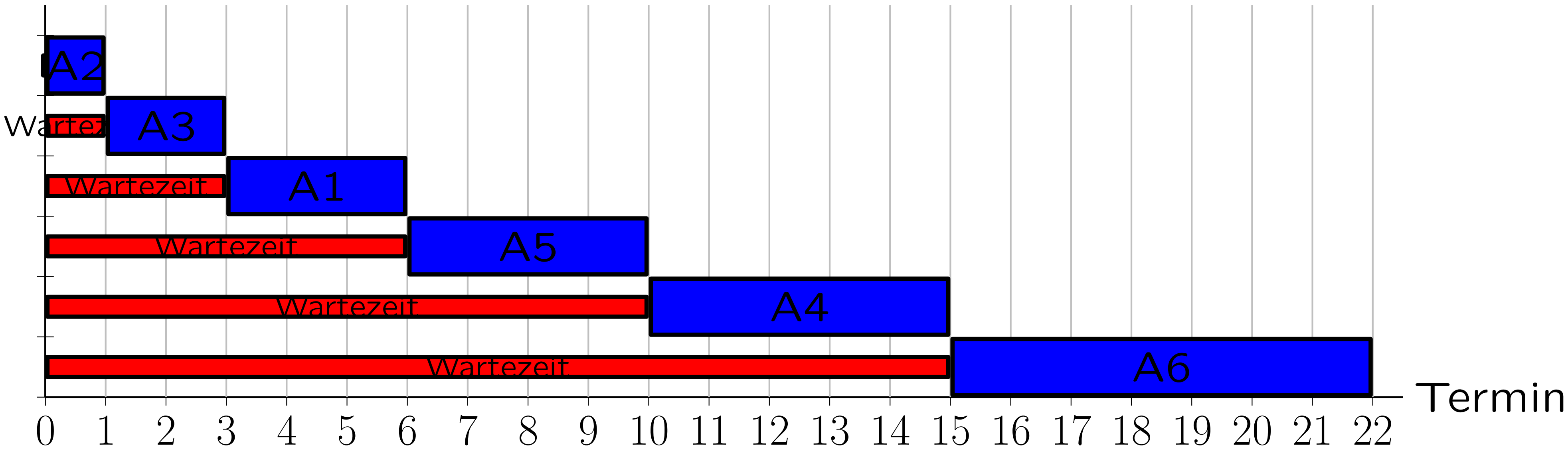
Beispiel **6 Aufträge**

Auftrag p	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Bearbeitungszeit a_p	3 ZE	1 ZE	2 ZE	5 ZE	4 ZE	7 ZE



Beispiel **6 Aufträge**

Auftrag p	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Bearbeitungszeit a_p	3 ZE	1 ZE	2 ZE	5 ZE	4 ZE	7 ZE

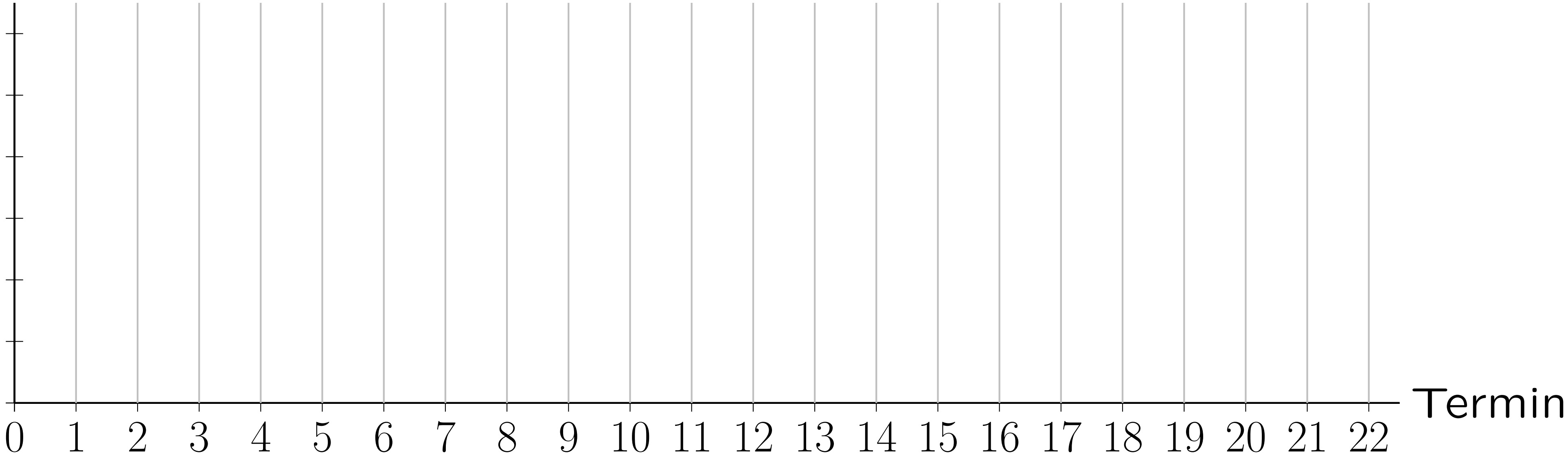


Optimalitätsbedingung: $a_{[1]} \leq a_{[2]} \leq a_{[3]} \leq a_{[4]} \leq a_{[5]} \leq a_{[6]}$

$\Longrightarrow$ Kürzeste-Operationszeit-Regel (KOZ-/SPT-Regel)

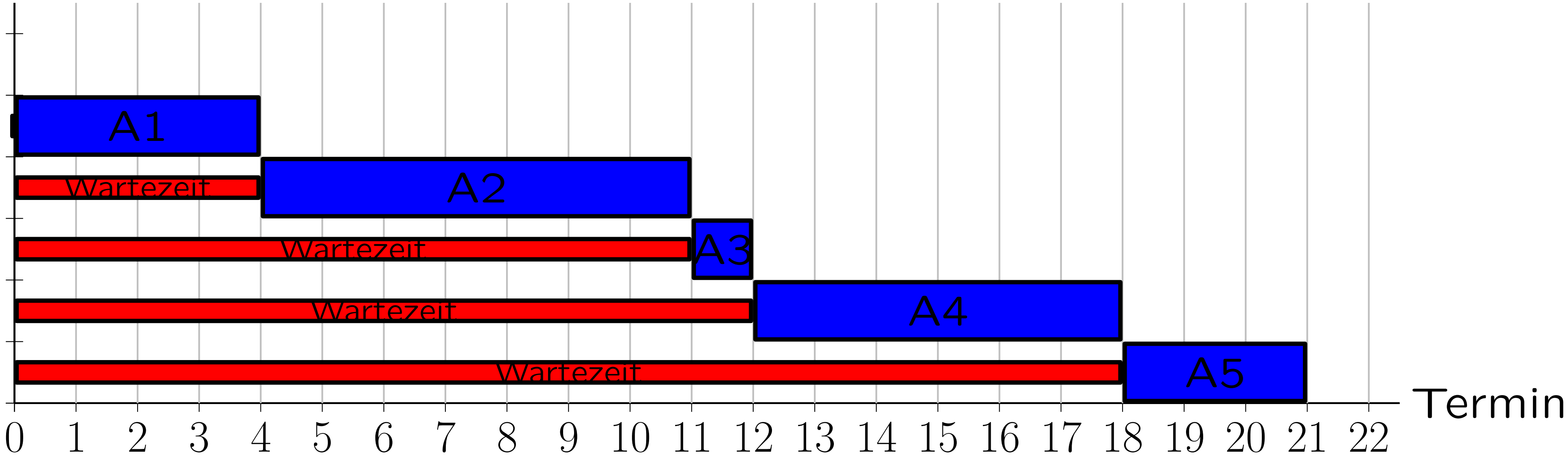
Beispiel **5 Aufträge**

Auftrag p	A1	A2	A3	A4	A5
Bearbeitungszeit a_p	4 ZE	7 ZE	1 ZE	6 ZE	3 ZE
Plantermin$_p$ = LT$_p$	8	12	4	13	14



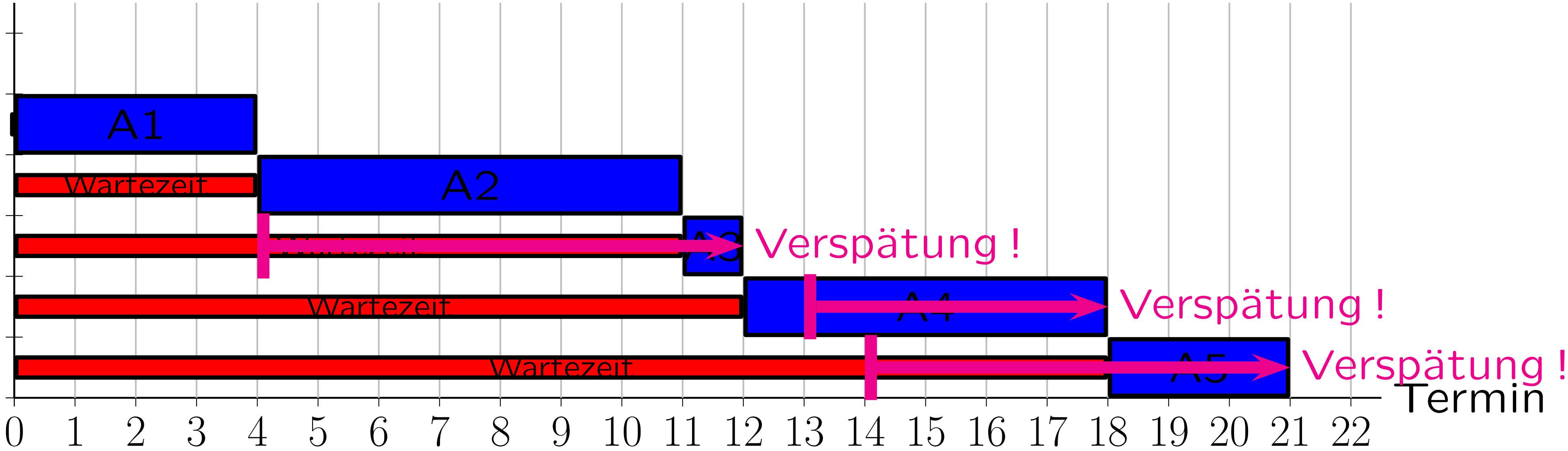
Beispiel **5 Aufträge**

Auftrag p	A1	A2	A3	A4	A5
Bearbeitungszeit a_p	4 ZE	7 ZE	1 ZE	6 ZE	3 ZE
Plantermin$_p$ = LT$_p$	8	12	4	13	14



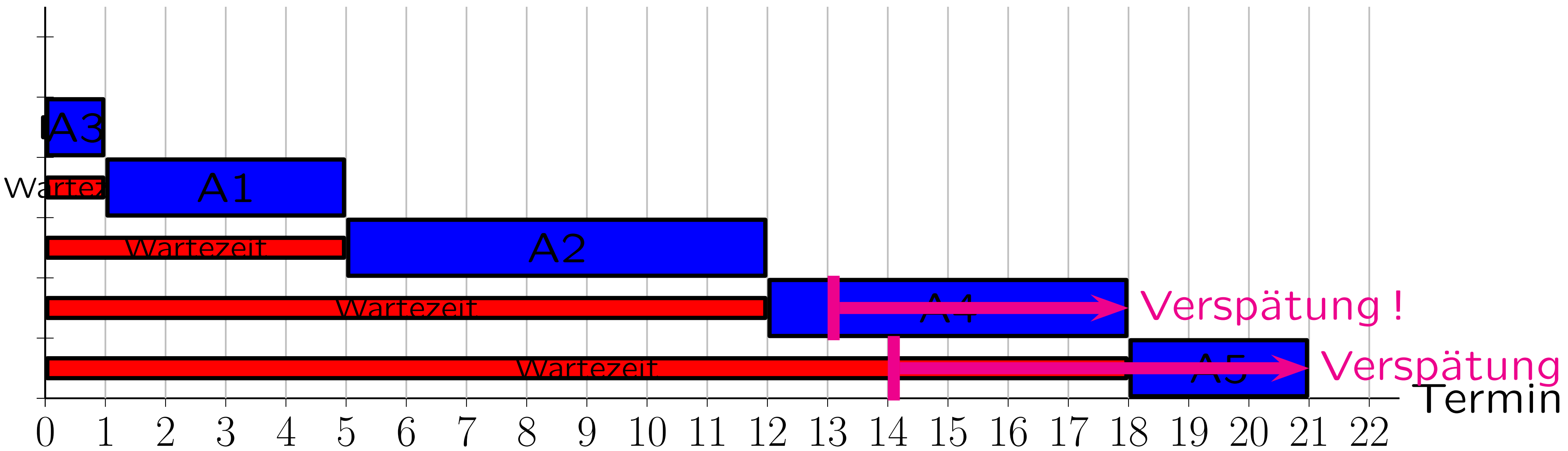
Beispiel **5 Aufträge**

Auftrag p	A1	A2	A3	A4	A5
Bearbeitungszeit a_p	4 ZE	7 ZE	1 ZE	6 ZE	3 ZE
Plantermin$_p$ = LT$_p$	8	12	4	13	14



Beispiel **5 Aufträge**

Auftrag p	A1	A2	A3	A4	A5
Bearbeitungszeit a_p	4 ZE	7 ZE	1 ZE	6 ZE	3 ZE
Plantermin$_p$ = LT$_p$	8	12	4	13	14



Optimalitätsbedingung: LT$_{[1]} \leq$ LT$_{[2]} \leq$ LT$_{[3]} \leq$ LT$_{[4]} \leq$ LT$_{[5]}$

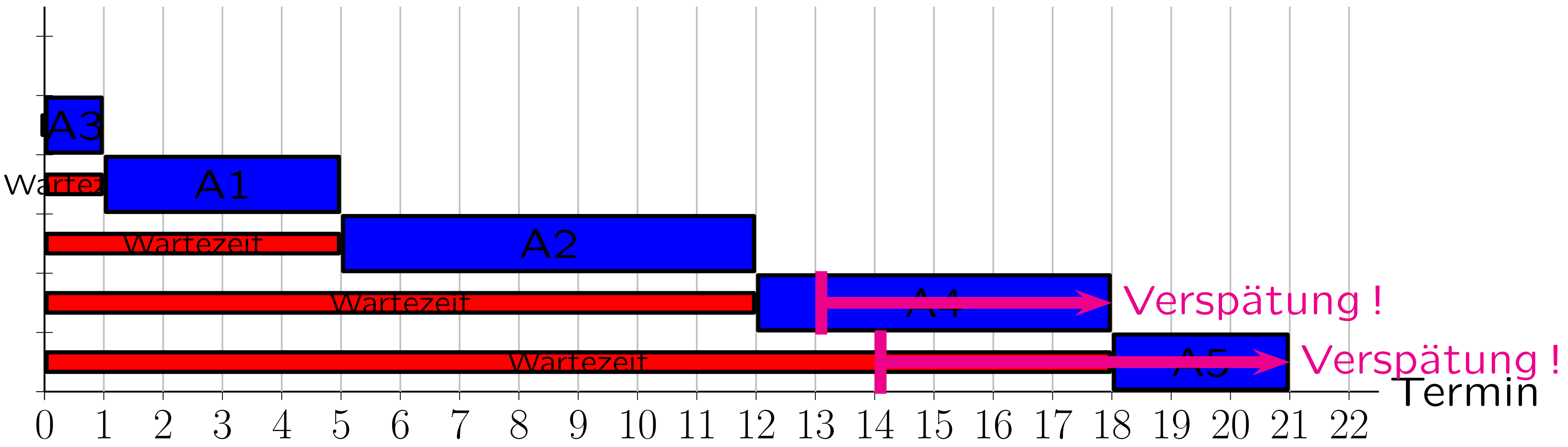
$\Longrightarrow$ Liefertermin-Regel

Verfahren von Hodgson (Moore)

1. Sortiere die Aufträge nach der Lieferterminregel! Speichere die Menge der Aufträge als geordnete Menge $\mathcal{R}$!
2. Suche den ersten verspäteten Auftrag, Auftrag α, in $\mathcal{R}$! Gibt es keinen, gehe zu Schritt 5!
3. Entferne aus den Aufträgen vor α den Auftrag mit der längsten Bearbeitungsdauer aus der Menge $\mathcal{R}$! Dadurch reduziert sich die Verspätung der Aufträge in $\mathcal{R}$ in maximalem Ausmaß.
4. Wiederhole die Schritte 2 und 3, solange es noch Verspätungen in $\mathcal{R}$ gibt!
5. Gibt es keinen verspäteten Auftrag mehr in $\mathcal{R}$, dann sortiere die Aufträge nach Lieferterminregel! Die aussortierten Aufträge können in beliebiger Reihenfolge, z. B. nach KOZ-Regel, eingeplant werden.

Beispiel **5 Aufträge**

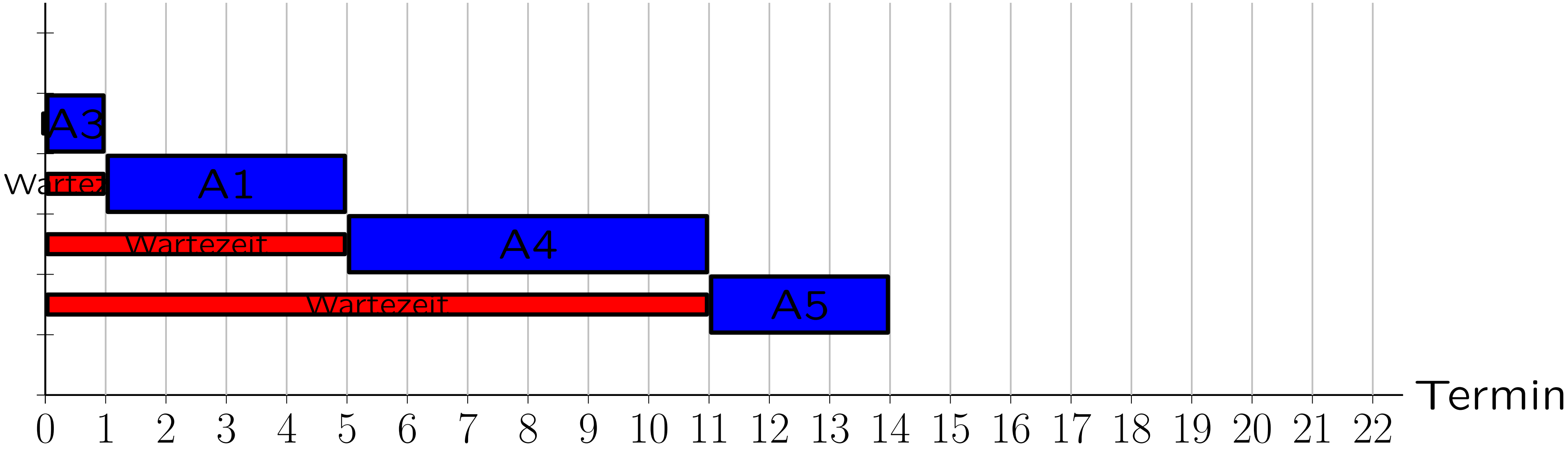
Auftrag p	A1	A2	A3	A4	A5
Bearbeitungszeit a_p	4 ZE	7 ZE	1 ZE	6 ZE	3 ZE
Plantermin$_p$ = LT$_p$	8	12	4	13	14



Hodgson-Verfahren, Schritt 1: Einplanung nach Liefertermin-Regel

Beispiel **5 Aufträge**

Auftrag p	A1	A2	A3	A4	A5
Bearbeitungszeit a_p	4 ZE	7 ZE	1 ZE	6 ZE	3 ZE
Plantermin$_p$ = LT$_p$	8	12	4	13	14

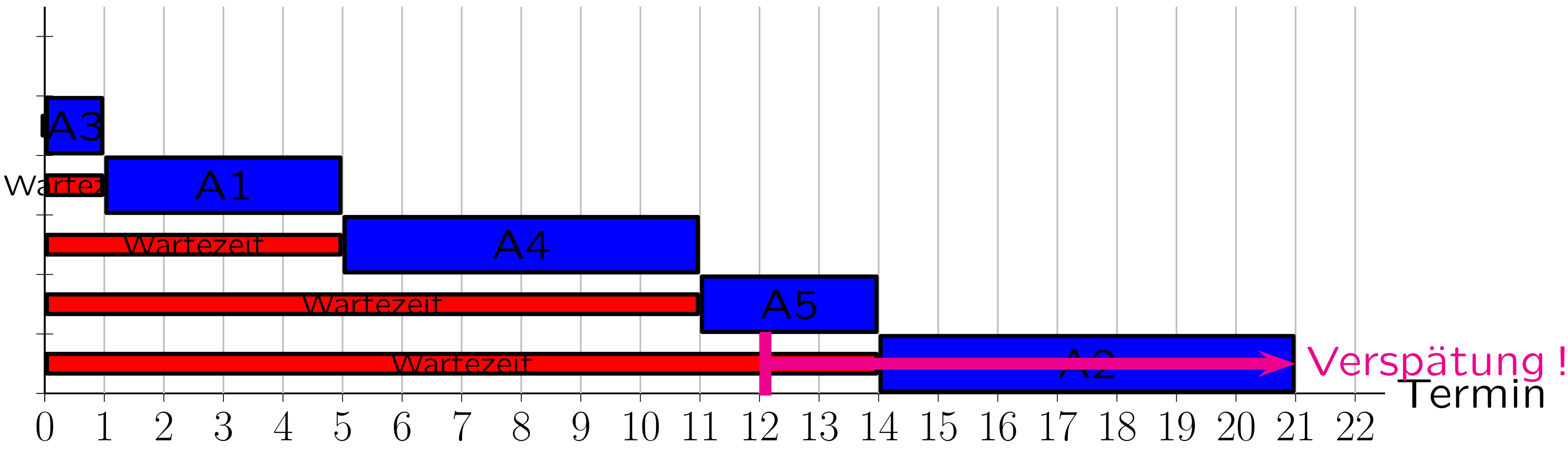


Hodgson-Verfahren, Schritt 1: Einplanung nach Liefertermin-Regel

Hodgson-Verfahren, Schritt 2 und 3: Entfernung von Auftrag A2

Beispiel **5 Aufträge**

Auftrag p	A1	A2	A3	A4	A5
Bearbeitungszeit a_p	4 ZE	7 ZE	1 ZE	6 ZE	3 ZE
Plantermin$_p$ = LT$_p$	8	12	4	13	14



Hodgson-Verfahren, Schritt 1: Einplanung nach Liefertermin-Regel

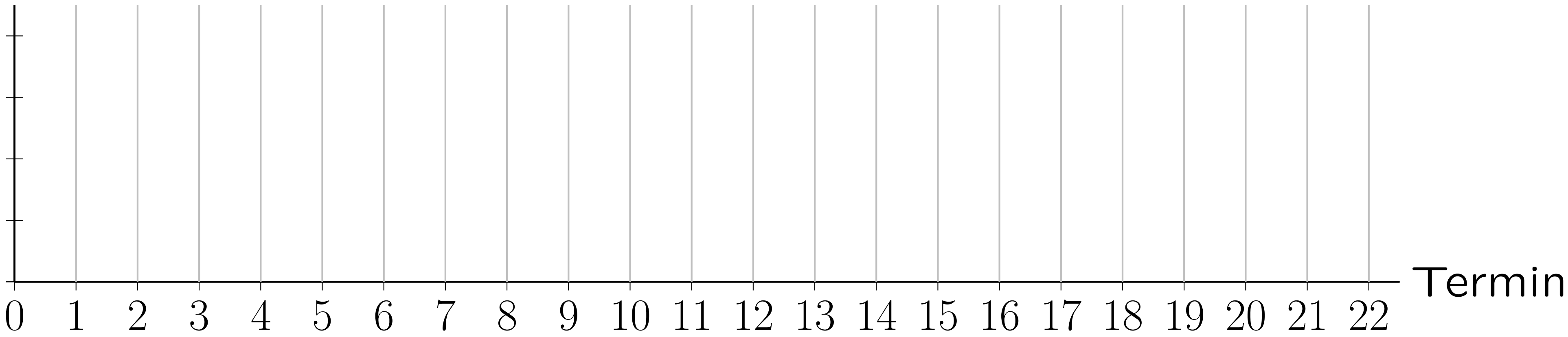
Hodgson-Verfahren, Schritt 2 und 3: Entfernung von Auftrag A2

Hodgson-Verfahren, Schritt 5: Einplanung der aussortierten Aufträge

Beispiel **3 Aufträge**

Auftrag p	1	2	3
Bearbeitungszeit a_p	7	3	2
Auftragseingang$_p$	0	1	3

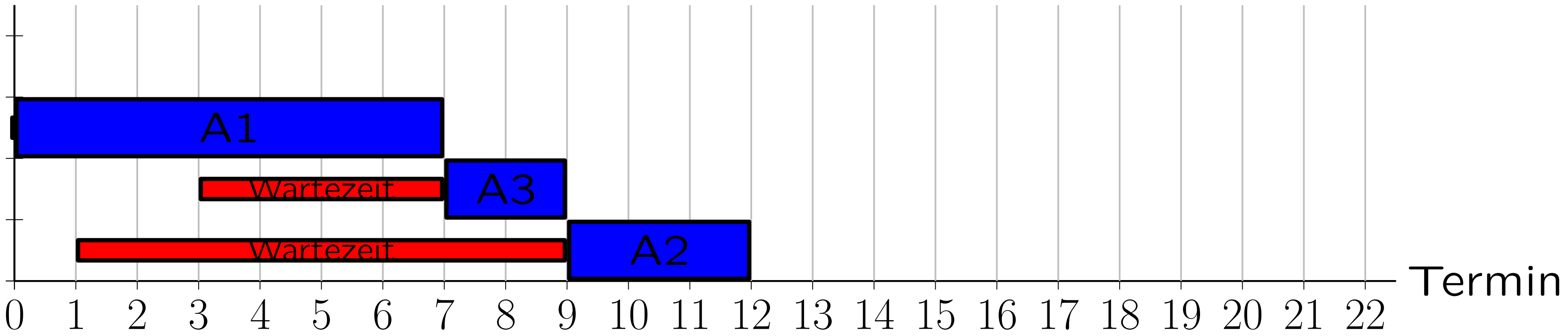
KOZ-Regel, keine Verdrängung:



Beispiel **3 Aufträge**

Auftrag p	1	2	3
Bearbeitungszeit a_p	7	3	2
Auftragseingang$_p$	0	1	3

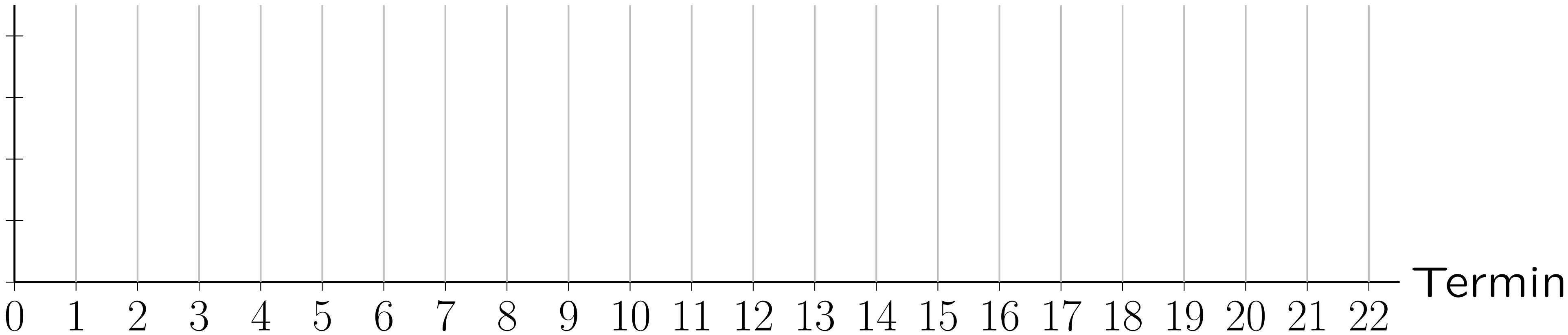
KOZ-Regel, keine Verdrängung:



Beispiel **3 Aufträge**

Auftrag p	1	2	3
Bearbeitungszeit a_p	7	3	2
Auftragseingang$_p$	0	1	3

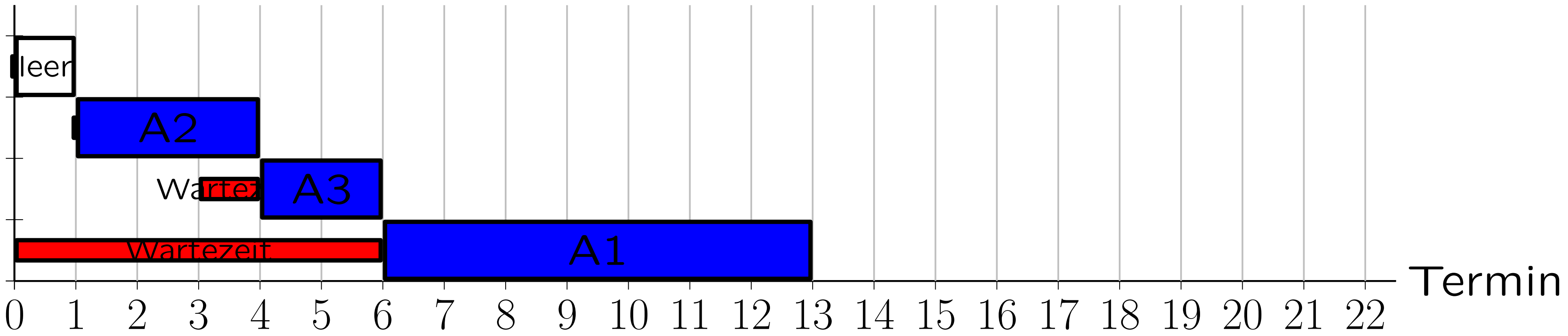
KOZ-Regel, keine Verdrängung, Stillstand möglich:



Beispiel **3 Aufträge**

Auftrag p	1	2	3
Bearbeitungszeit a_p	7	3	2
Auftragseingang$_p$	0	1	3

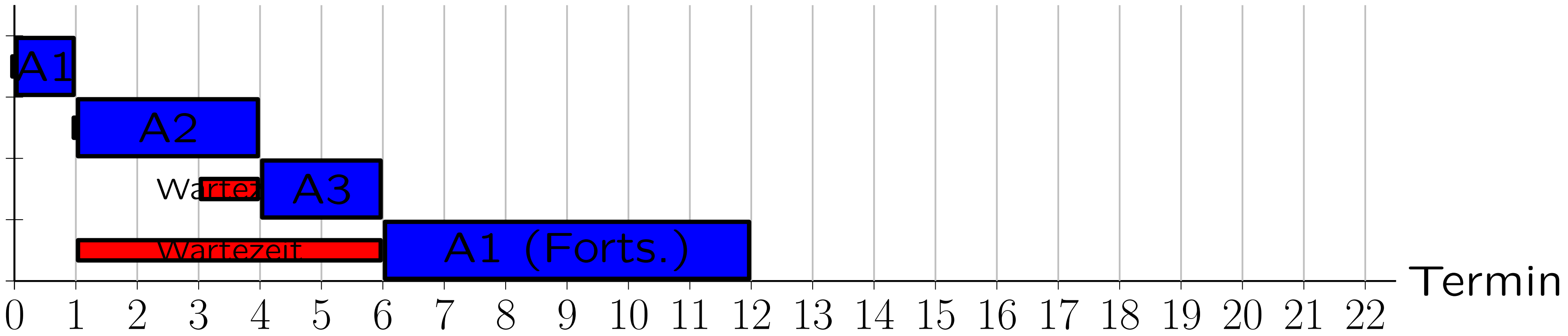
KOZ-Regel, keine Verdrängung, Stillstand möglich:



Beispiel **3 Aufträge**

Auftrag p	1	2	3
Bearbeitungszeit a_p	7	3	2
Auftragseingang$_p$	0	1	3

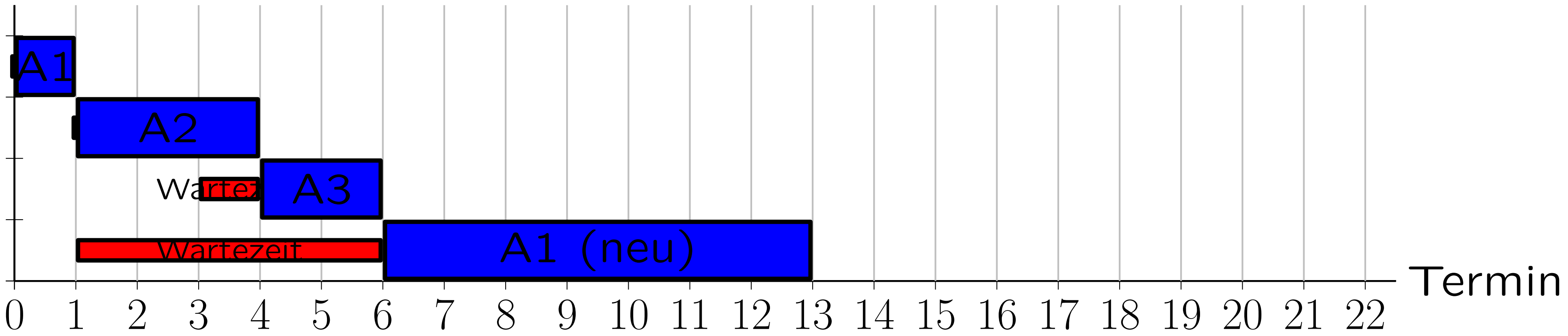
KRZ-Regel, Verdrängung möglich:



Beispiel **3 Aufträge**

Auftrag p	1	2	3
Bearbeitungszeit a_p	7	3	2
Auftragseingang$_p$	0	1	3

KRZ-Regel, Verdrängung möglich, Wiederholung nötig:



Erkenntnisse:

- KOZ/KRZ-Regel minimiert die mittlere Durchlaufzeit

$\Longrightarrow$ Planungszeitpunkt und Menge der einzuplanenden Aufträge beeinflussen die Lösungsgüte

$\Longrightarrow$ hoher Anteil zu früh fertiggestellter Aufträge

$\Longrightarrow$ Aufträge mit langer Bearbeitungszeit bleiben liegen

$\Longrightarrow$ hohe Streuung der Durchlaufzeiten

Nach- und Vorlaufzeiten

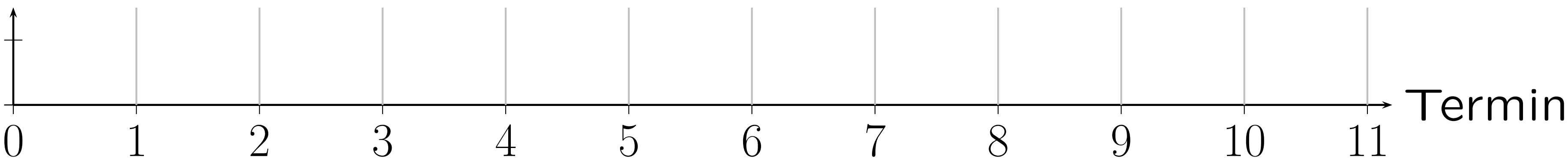
Die Zyklusdauer ist nicht mehr gleich der Summe der Bearbeitungszeiten.

Das Verfahren von Schrage

- Wähle als nächsten zu bearbeitenden Auftrag aus der Menge der aktuell einplanbaren Aufträge denjenigen mit der längsten Nachlaufzeit !

Beispiel (vgl. Küpper/Helber (2004))

Vorgang j	1	2	3
Vorlaufzeit$_j$	6	0	0
Bearbeitungszeit$_j$	3	1	2
Nachlaufzeit$_j$	0	9	5



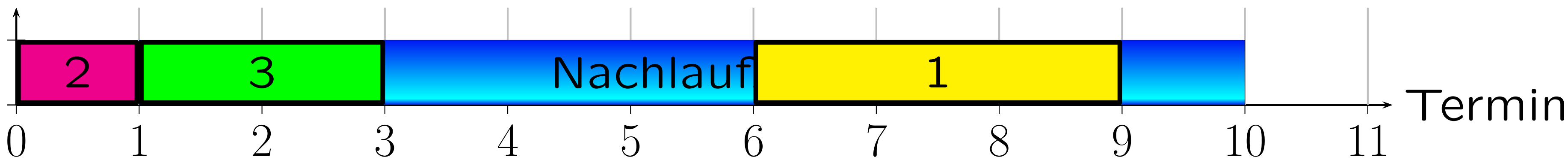
Die Zyklusdauer ist nicht mehr gleich der Summe der Bearbeitungszeiten.

Das Verfahren von Schrage

- Wähle als nächsten zu bearbeitenden Auftrag aus der Menge der aktuell einplanbaren Aufträge denjenigen mit der längsten Nachlaufzeit !

Beispiel (vgl. Küpper/Helber (2004))

Vorgang j	1	2	3
Vorlaufzeit$_j$	6	0	0
Bearbeitungszeit$_j$	3	1	2
Nachlaufzeit$_j$	0	9	5



Die Produktionsaufträge treffen in **zufälligen** **Abständen** ein.

Die **Durchlaufzeit** eines Auftrags ist eine Zufallsvariable.

Weitere stochastische Einflüsse auf die Durchlaufzeit eines Auftrags i:

- stochastische Bearbeitungszeit des Auftrags i
- stochastische Bearbeitungszeiten der vor i wartenden Aufträge
- Verdrängung des Auftrags i zu einem zufälligen Zeitpunkt auf Grund der Ankunft eines wichtigeren Auftrags

Warteschlangendisziplinen

- FCFS (first come first served)
- LCFS (last come first served)
- SRO (service in random order)
- PR (priority service)

Prioritätsregeln

- KOZ-Regel (Kürzeste-Operationszeit-Regel)
- LOZ-Regel (Längste-Operationszeit-Regel)
- GRB-Regel (Größte-Restbearbeitungszeit-Regel)
- KRB-Regel (Kürzeste-Restbearbeitungszeit-Regel)
- Liefertermin-Regel
- ...

Erkenntnisse aus Simulationsuntersuchungen:

- KOZ-Regel minimiert die mittlere Durchlaufzeit

$\Longrightarrow$ hoher Anteil zu früh fertiggestellter Aufträge

$\Longrightarrow$ Aufträge mit langer erwarteter Bearbeitungszeit bleiben liegen

$\Longrightarrow$ hohe Streuung der Durchlaufzeiten

- Liefertermin-Regel reduziert die Streuung der Durchlaufzeit
- FCFS-Regel vermeidet hohen Anteil liegenbleibender Aufträge

Ablaufplanung für parallele Maschinen

Beispiel (vgl. Jähn/Pesch (2014))

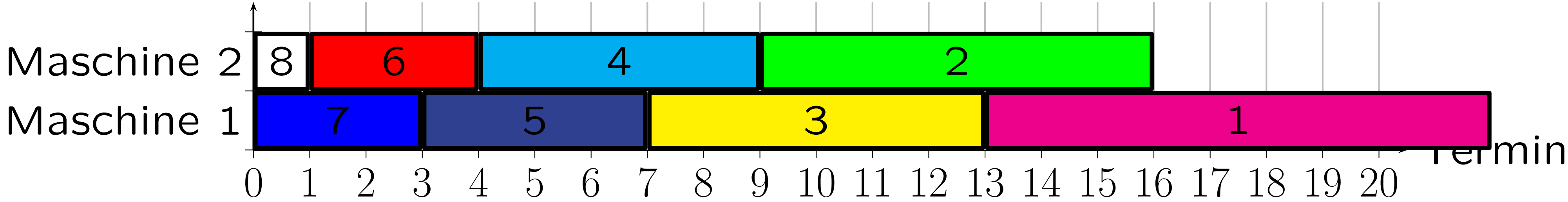
Vorgang j	1	2	3	4	5	6	7	8
Bearbeitungszeit$_j$	9	7	6	5	4	3	3	1

Beispiel

(vgl. Jähn/Pesch (2014))

Vorgang j	1	2	3	4	5	6	7	8
Bearbeitungszeit$_j$	9	7	6	5	4	3	3	1

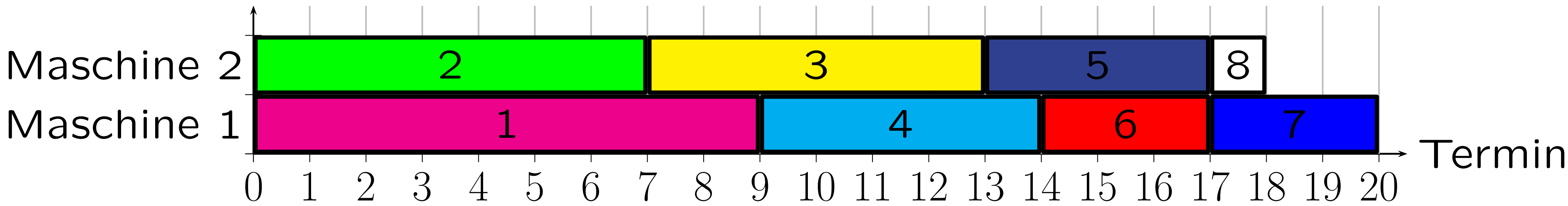
KOZ-Regel



Beispiel (vgl. Jähn/Pesch (2014))

Vorgang j	1	2	3	4	5	6	7	8
Bearbeitungszeit$_j$	9	7	6	5	4	3	3	1

LOZ-Regel

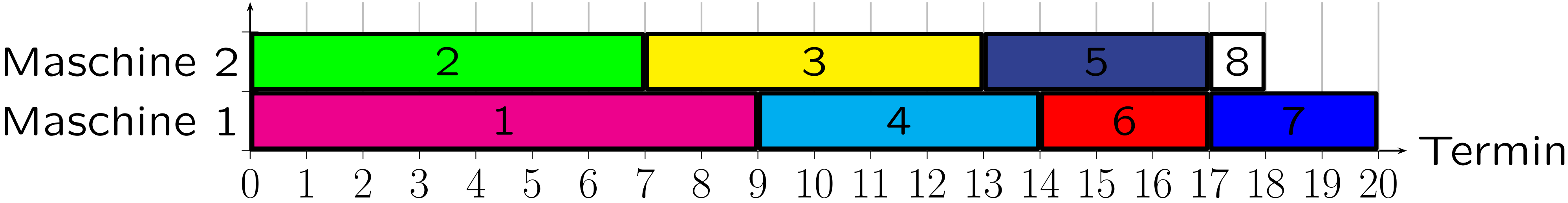


Beispiel

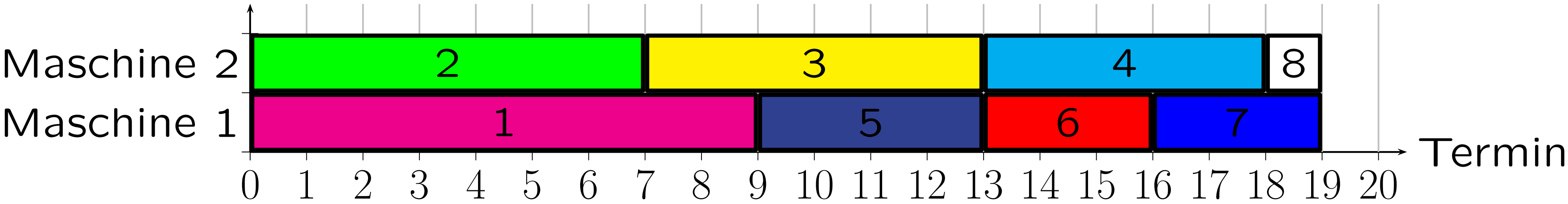
(vgl. Jähn/Pesch (2014))

Vorgang j	1	2	3	4	5	6	7	8
Bearbeitungszeit$_j$	9	7	6	5	4	3	3	1

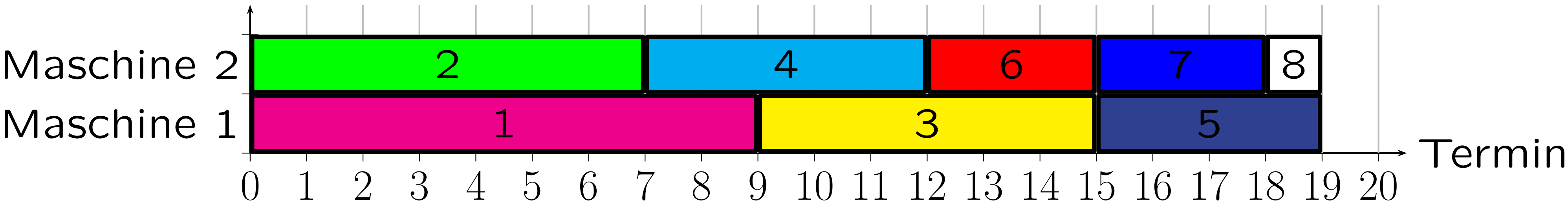
LOZ-Regel



Optimale Lösung



Optimale Lösung (II)



Ablaufplanung für mehrere Produktionsstufen

Identische Bearbeitungsreihenfolgen (Flow Shop)

Johnson-Verfahren

1. Suche den kürzesten, noch nicht eingeplanten Arbeitsgang !
   - Ist dieser Arbeitsgang einer an der ersten Maschine, dann ordne diesen möglichst weit vorn in die Bearbeitungsreihenfolge ein !
   - Ist dieser Arbeitsgang einer an der zweiten Maschine, dann ordne diesen möglichst weit hinten in die Bearbeitungsreihenfolge ein !
2. Wiederhole Schritt 1 !

Optimalitätsbedingung:

Erledige Auftrag i vor j, falls $\min\{a_{i1}, a_{j2}\} \leq \min\{a_{i2}, a_{j1}\}$!

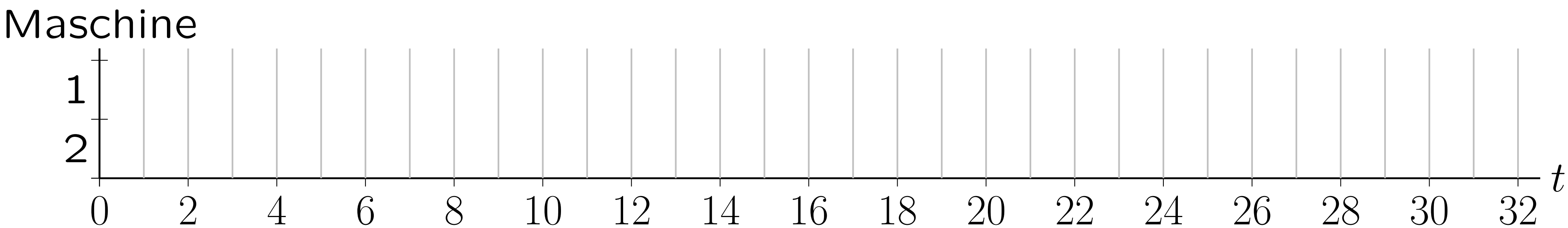
(a_{pm} = Dauer des Auftrags p an Maschine m)

Beispiel **5 Aufträge**

Bearbeitungszeiten

Auftrag	A	B	C	D	E
Maschine 1	3	6	9	4	7
Maschine 2	2	3	8	6	4

Auftragsreihenfolgeplanung nach dem Johnson-Verfahren



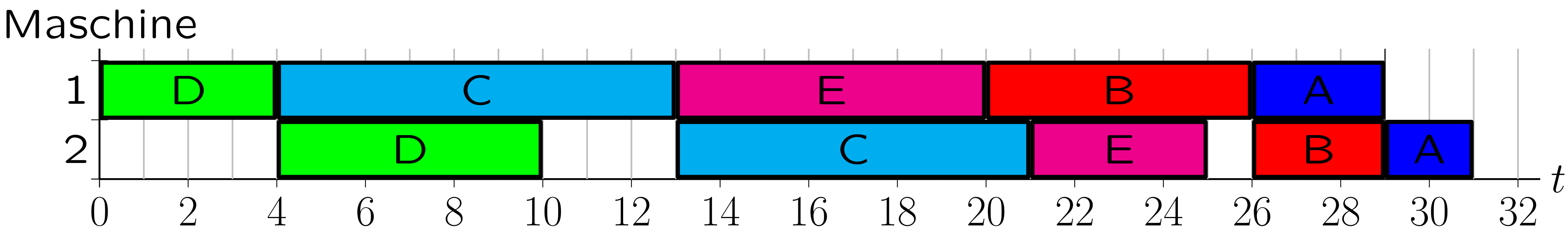
Beispiel 5 Aufträge

Bearbeitungszeiten

Auftrag	A	B	C	D	E
Maschine 1	3	6	9	4	7
Maschine 2	2	3	8	6	4

Auftragsreihenfolgeplanung nach dem Johnson-Verfahren

Schritt 1					A
Schritt 2				B	A
Schritt 3	D			B	A
Schritt 4	D		E	B	A
Schritt 5	D	C	E	B	A

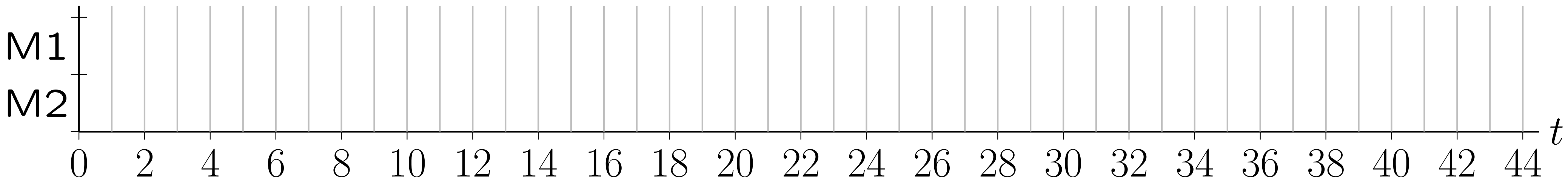


Beispiel **8 Aufträge**

Bearbeitungszeiten

Auftrag	1	2	3	4	5	6	7	8
Maschine 1	4	8	7	8	2	1	3	9
Maschine 2	6	3	6	4	6	5	7	2

Auftragsreihenfolgeplanung nach dem Johnson-Verfahren



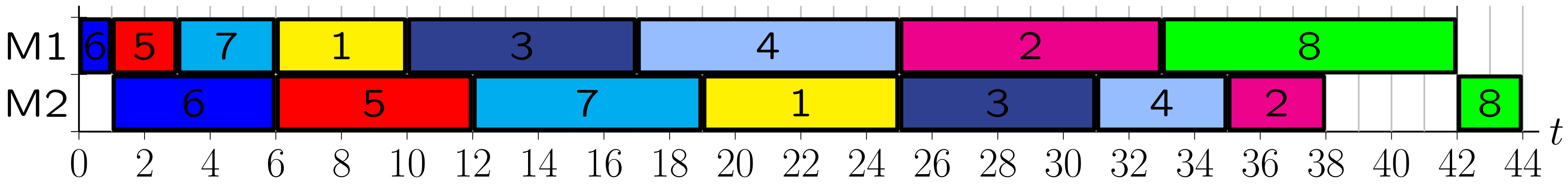
Beispiel **8 Aufträge**

Bearbeitungszeiten

Auftrag	1	2	3	4	5	6	7	8
Maschine 1	4	8	7	8	2	1	3	9
Maschine 2	6	3	6	4	6	5	7	2

Auftragsreihenfolgeplanung nach dem Johnson-Verfahren

Schritt 1	6	–	–	–	–	–	–	–
Schritt 2	6	5	–	–	–	–	–	–
Schritt 3	6	5	–	–	–	–	–	8
Schritt 4	6	5	–	–	–	–	2	8
Schritt 5	6	5	7	–	–	–	2	8
Schritt 6	6	5	7	1	–	–	2	8
Schritt 7	6	5	7	1	–	4	2	8
Schritt 8	6	5	7	1	3	4	2	8



Job-Shop Scheduling

Kritische Größen:

- Staueffekte
  - hohe Lagerbestände
  - lange Wartezeiten
  - lange Durchlaufzeiten
- Termineinhaltung
  - Verspätungen
  - Terminabweichungen

Prioritätsregeln zum Abbau der Staueffekte

- KOZ-Regel
  - Maximierung der Anzahl fertig bearbeiteter Aufträge
  - Minimierung der Durchlaufzeit
  - Erhöhung der Varianz der Durchlaufzeit
- FCFS-Regel
  - Abbau des Bestands an liegengebliebenen Aufträgen

Anwendung der Prioritätsregeln

- simultan: KOZ-Regel bis kritische Wartezeit, dann FCFS
- abwechselnd $\Longrightarrow$ geringerer Anstieg der Durchlaufzeiten
  - situationsabhängig: FCFS bis kritischer Bestand, dann KOZ-Regel bis untere Grenze beim Auftragsbestand, dann wieder FCFS usw.
  - regelmäßig: fester Rhythmus zwischen KOZ- und FCFS-Regel

„globale“, bestandsorientierte Prioritätsregeln zum Abbau der Staueffekte

- WINQ-Regel (*work in next queue*): Der Auftrag mit der kleinsten Warteschlange vor der nächsten anzulaufenden Maschine hat höchste Priorität.
- XWINQ-Regel (*expected work in next queue*): Der Auftrag mit der kleinsten Warteschlange – zuzüglich der bis dahin erwarteten zusätzlichen Aufträge – vor der nächsten anzulaufenden Maschine hat höchste Priorität.

kombinierte Anwendung der Prioritätsregeln zum Abbau der Staueffekte

Prioritätsregelkombination	mittlere Anzahl wartender Aufträge
KOZ	23.25
WINQ	40.43
XWINQ	34.03
$0.5 \cdot \text{KOZ} + 0.5 \cdot \text{WINQ}$	30.14
$0.9 \cdot \text{KOZ} + 0.1 \cdot \text{WINQ}$	23.76
$0.95 \cdot \text{KOZ} + 0.05 \cdot \text{WINQ}$	23.00
$0.97 \cdot \text{KOZ} + 0.03 \cdot \text{WINQ}$	22.83
$0.94 \cdot \text{KOZ} + 0.06 \cdot \text{XWINQ}$	23.26
$0.96 \cdot \text{KOZ} + 0.04 \cdot \text{XWINQ}$	22.67
$0.98 \cdot \text{KOZ} + 0.02 \cdot \text{XWINQ}$	22.74

$\Longrightarrow$ komplizierte Anwendung, aber nur geringe Effekte

Prioritätsregeln zur Einhaltung der Termine

- Liefertermin-Regel (DDATE): Der Auftrag mit dem nächsten Liefertermin hat höchste Priorität.
- Schlupfzeit-Regel (SLACK): Der Auftrag mit der geringsten Differenz aus Liefertermin und aktuellem Datum abzüglich der noch verbleibenden Bearbeitungszeiten hat höchste Priorität.
- Schlupfzeit-pro-Arbeitsgang-Regel (SLACK/OPN): Der Auftrag mit dem geringsten Quotienten aus Schlupfzeit und Anzahl noch verbleibender Bearbeitungsvorgänge hat höchste Priorität.

Conways Simulationsergebnisse (9 Maschinen, 8700 Aufträge)

Prioritätsregel	Anzahl Aufträge mit Verspätung	mittlere Terminabweichung	Varianz der Terminabweichungen	mittlere Durchlaufzeit
DDATE	15.75 %	−15.5	432	63.7
SLACK	22.02 %	−13.1	433	65.8
SLACK/OPN	3.71 %	−12.8	266	66.1
KOZ	5.02 %	−44.9	2878	34.0
FCFS	44.79 %	−4.5	1686	74.4

Zusammenhang zwischen Losgröße und Durchlaufzeit

Modell von Karmarkar

Man betrachtet eine Werkstatt als ein M/M/1-Warteschlangensystem:

- exponentialverteilte Zwischenankunftszeit von Aufträgen
- exponentialverteilte Bearbeitungszeiten
- ein Server (eine Maschine)
- unbegrenzter Warteraum
- FCFS

Modell von Karmarkar

Ankunftsrate von Werkstücken: D

Losgröße: Q

Ankunftsrate von Losen: $\lambda = \dfrac{D}{Q}$

Produktionsrate: P

Rüstzeit: τ

mittlere Bearbeitungszeit eines Loses: $\tau + \dfrac{Q}{P}$

Bearbeitungsrate von Losen: $\mu = \dfrac{1}{\tau + \dfrac{Q}{P}} = \dfrac{P}{P \cdot \tau + Q}$

Auslastung: $\rho = \dfrac{\lambda}{\mu} = \dfrac{\dfrac{D}{Q}}{\dfrac{P}{P \cdot \tau + Q}} = \dfrac{D}{P} \cdot \dfrac{P \cdot \tau + Q}{Q} = \dfrac{D}{P} \cdot \left(\dfrac{P}{Q} \cdot \tau + 1 \right) = \dfrac{D \cdot \tau}{Q} + \dfrac{D}{P}$

Modell von Karmarkar

Wegen $\rho = \frac{D \cdot \tau}{Q} + \frac{D}{P} \overset{!}{<} 1 \iff 1 - \frac{D}{P} \overset{!}{>} \frac{D \cdot \tau}{Q}$ muss gelten:

$$Q \overset{!}{>} \frac{D \cdot \tau}{1 - \frac{D}{P}}$$

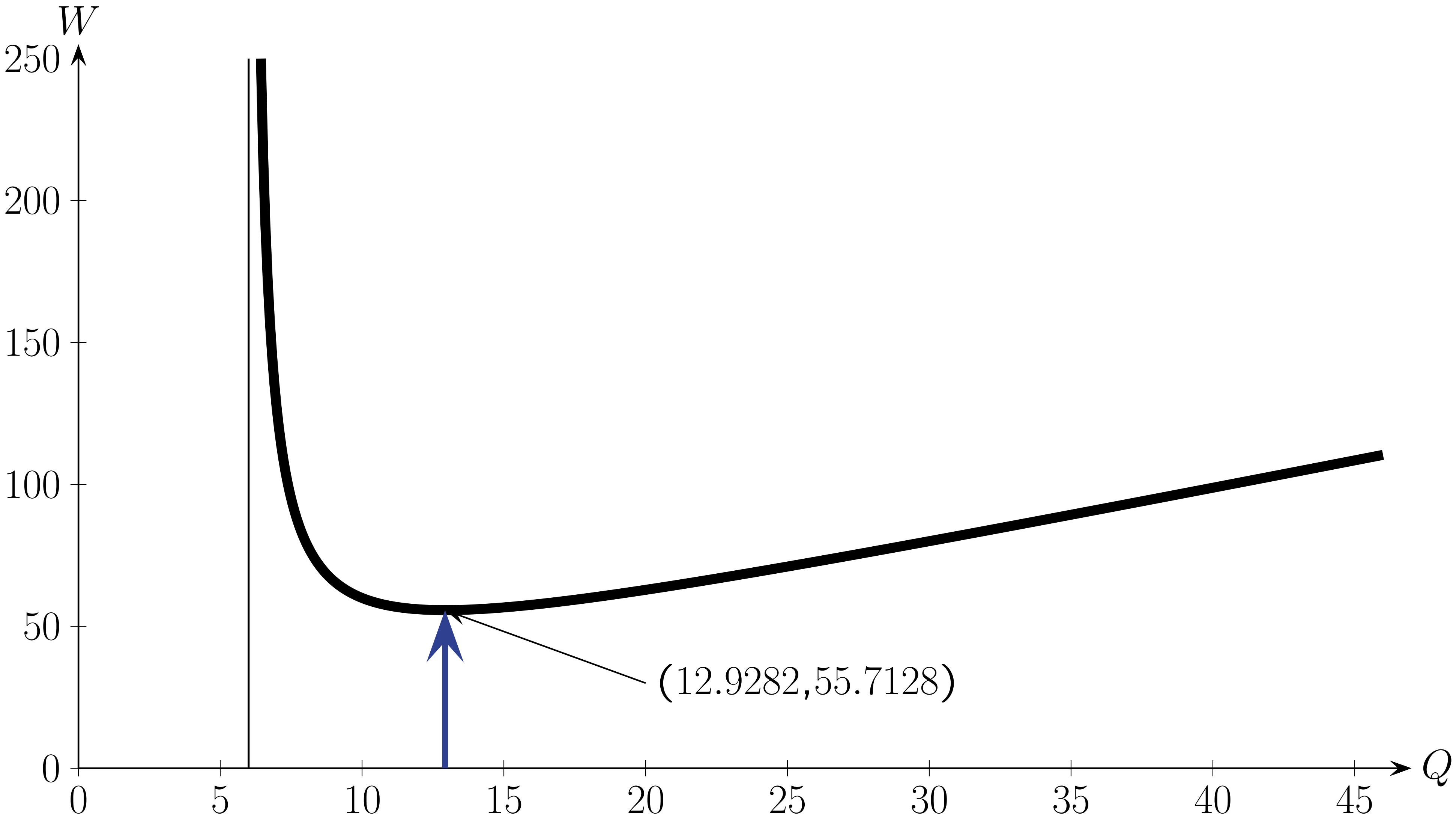
(Untergrenze für die Losgröße)

mittlere Durchlaufzeit

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{\frac{P}{P \cdot \tau + Q} - \frac{D}{Q}} = \frac{1}{\frac{P - \frac{D}{Q} \cdot (P \cdot \tau + Q)}{P \cdot \tau + Q}} = \frac{P \cdot \tau + Q}{P - \frac{D}{Q} \cdot (P \cdot \tau + Q)}$$

$$= \frac{\tau + \frac{Q}{P}}{1 - \frac{D \cdot \tau}{Q} - \frac{D}{P}}$$

$D = 1.5,\ \tau = 1,\ P = 2$

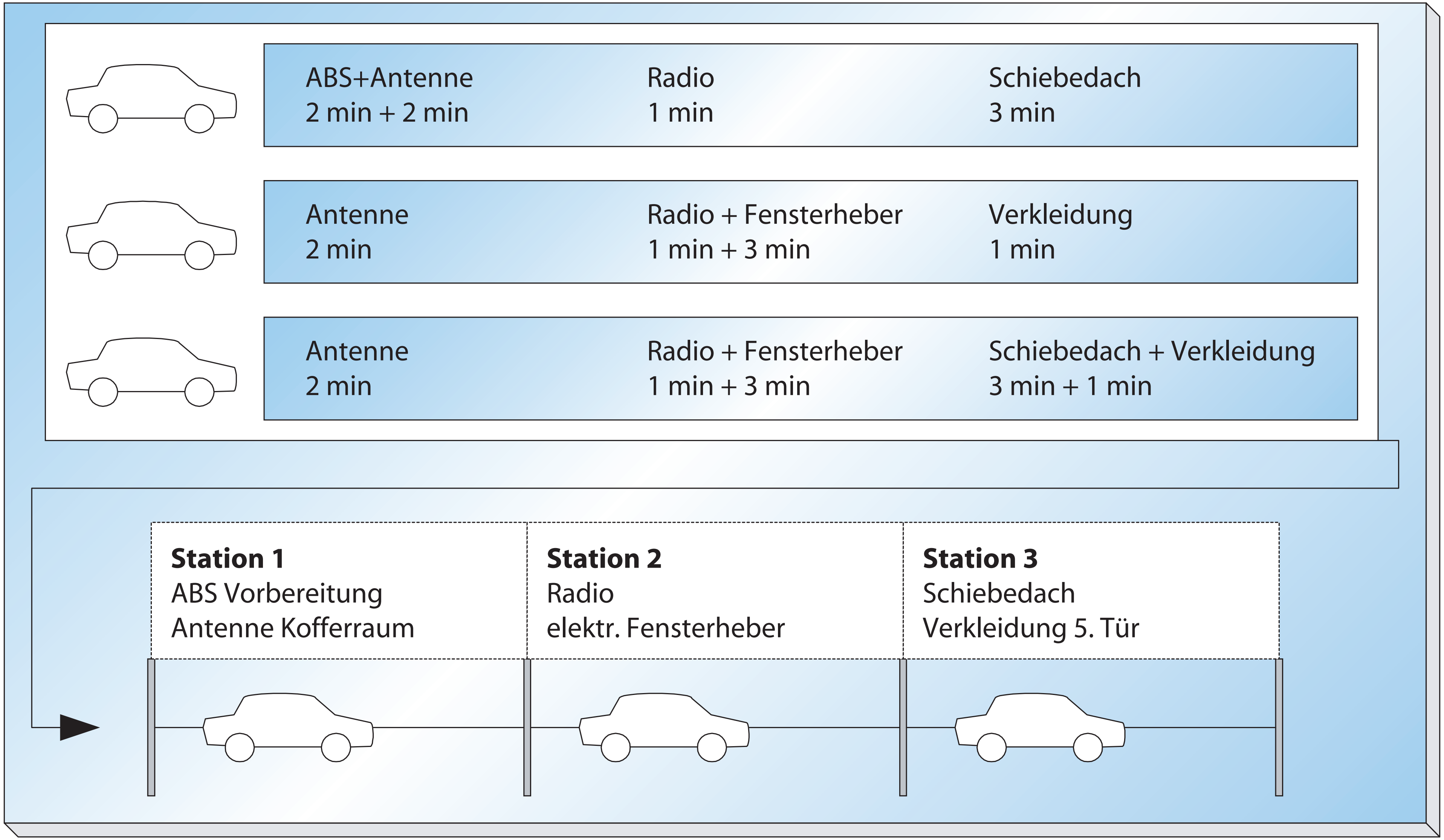


UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

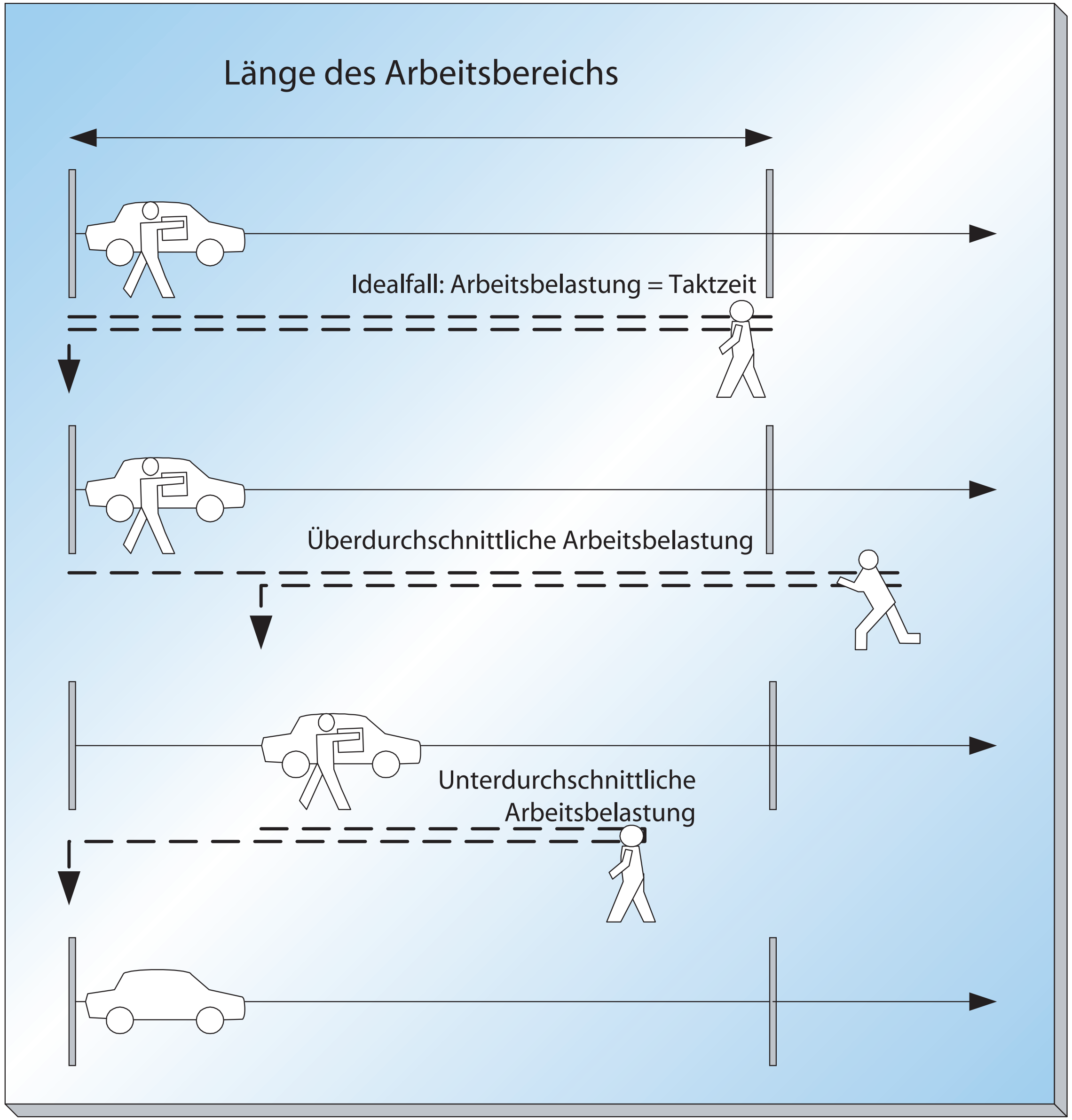
MERCATOR School of Management

Einlastungsplanung bei Variantenfließproduktion

Variantenfließproduktion

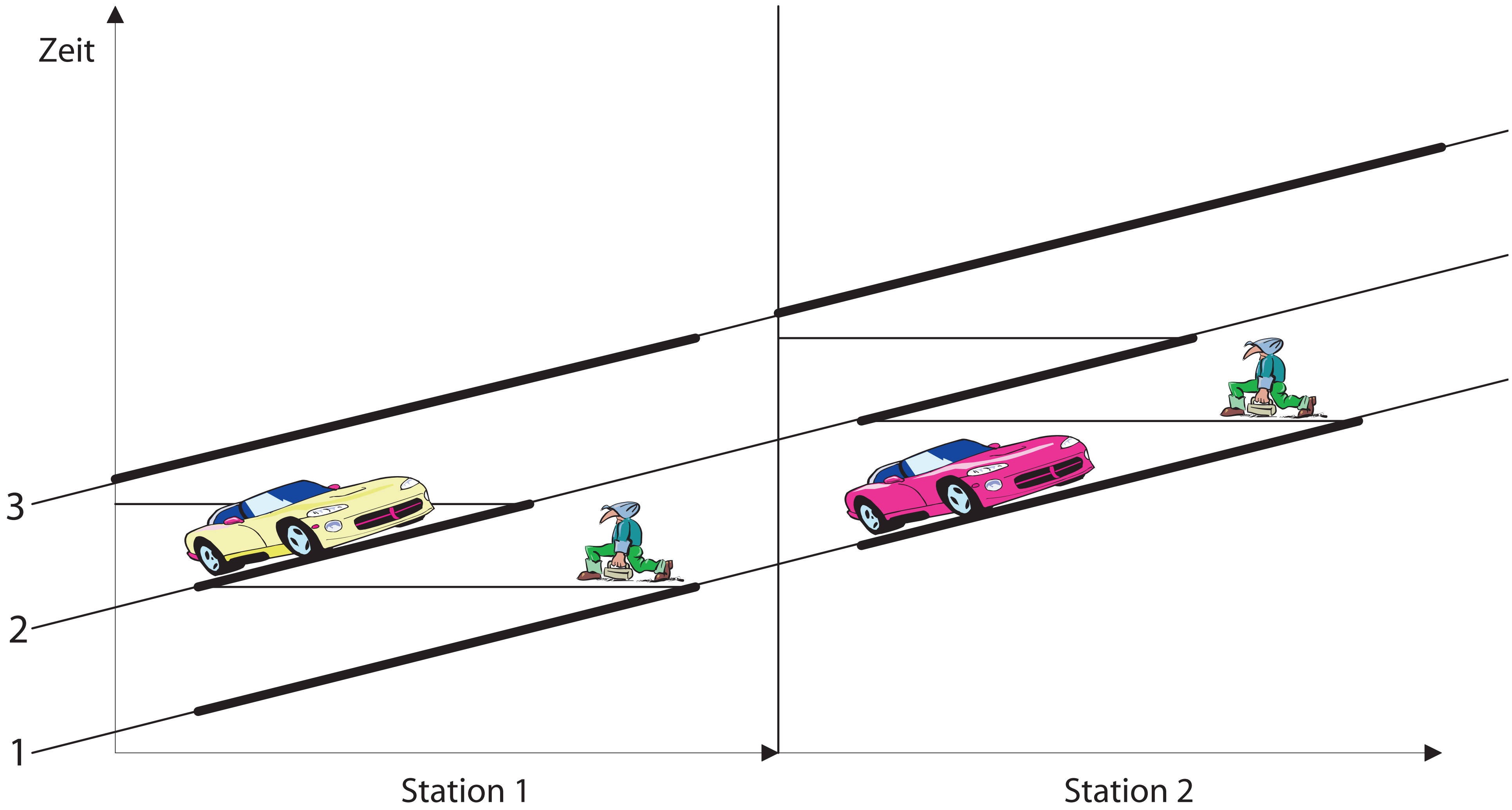


(Quelle: Günther/Tempelmeier (2005))



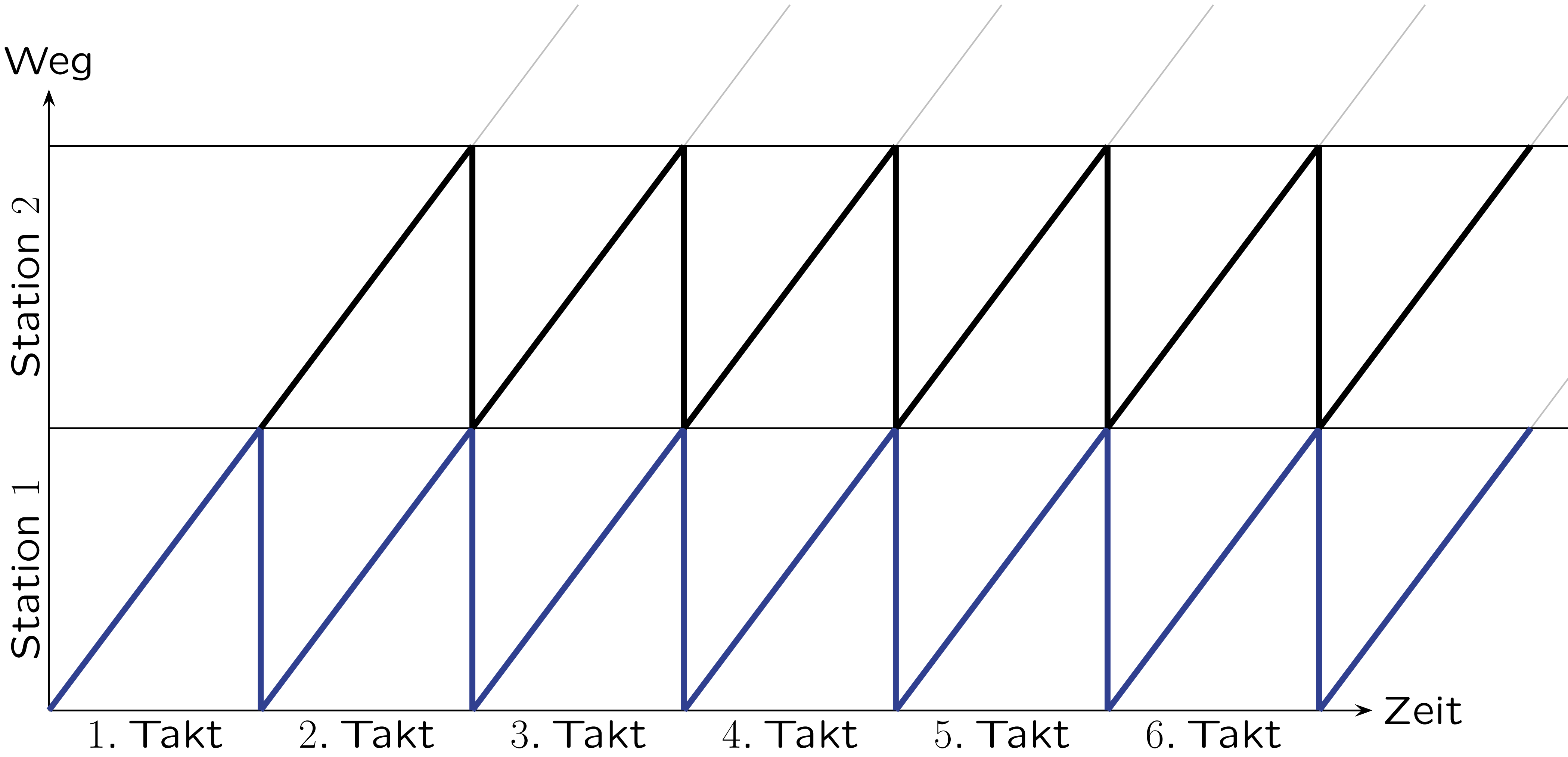
(Quelle: Günther/Tempelmeier (2005))

Weg-Zeit-Diagramm



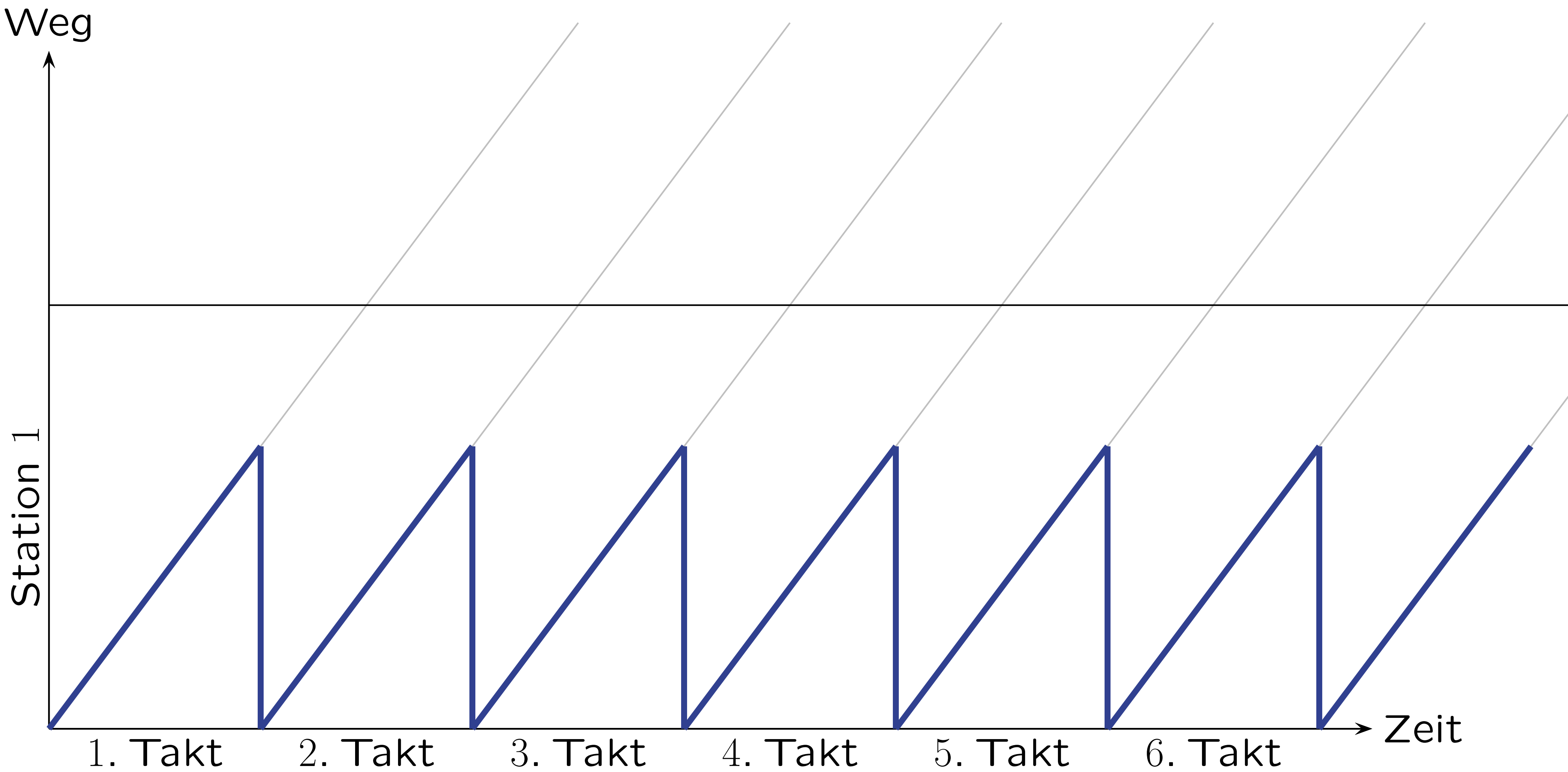
Zeit-Weg-Diagramm

Idealfall: gleiche Arbeitsbelastung für alle in Höhe der Taktzeit



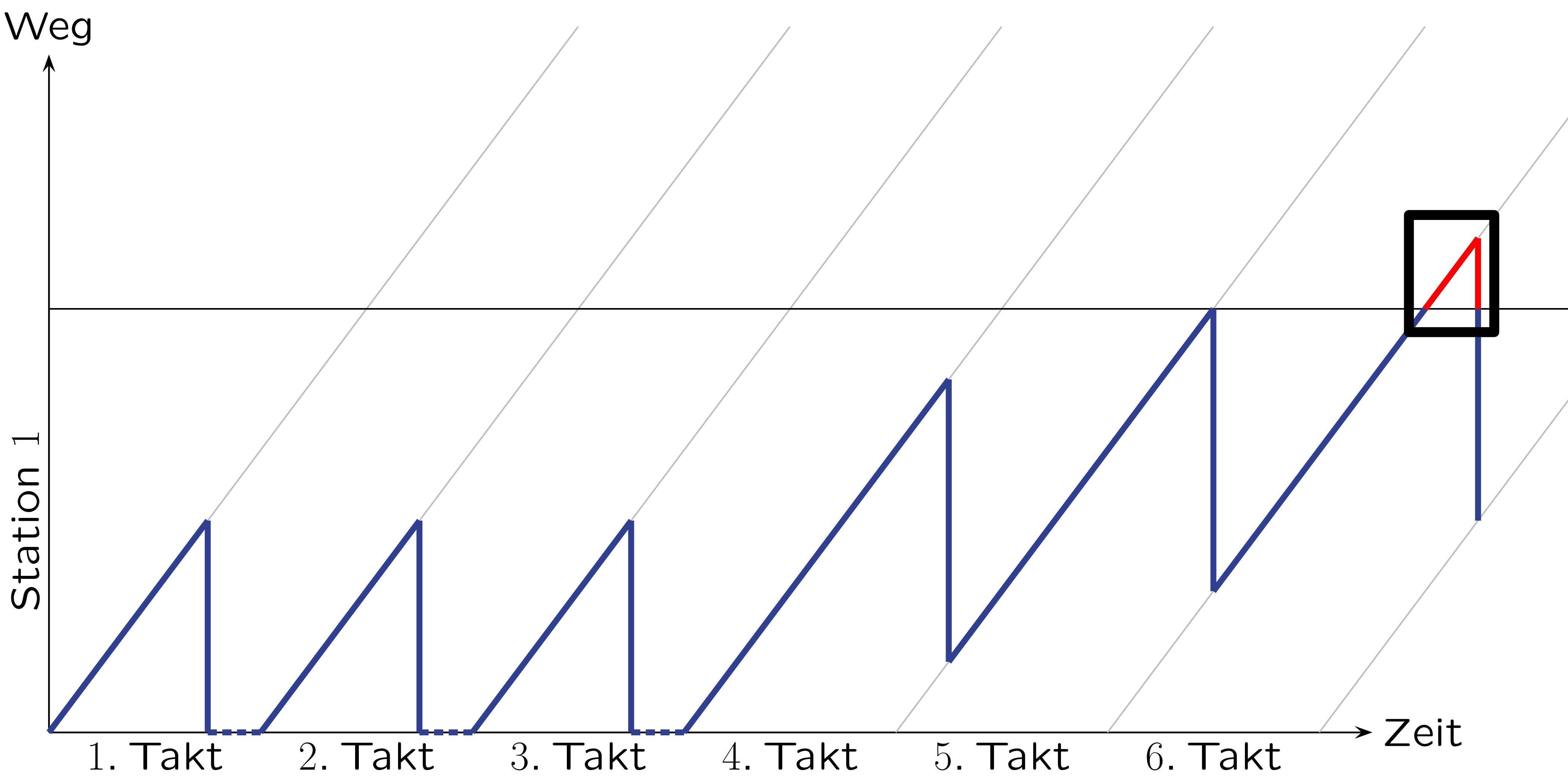
Zeit-Weg-Diagramm

Idealfall: gleiche Arbeitsbelastung für alle in Höhe der Taktzeit



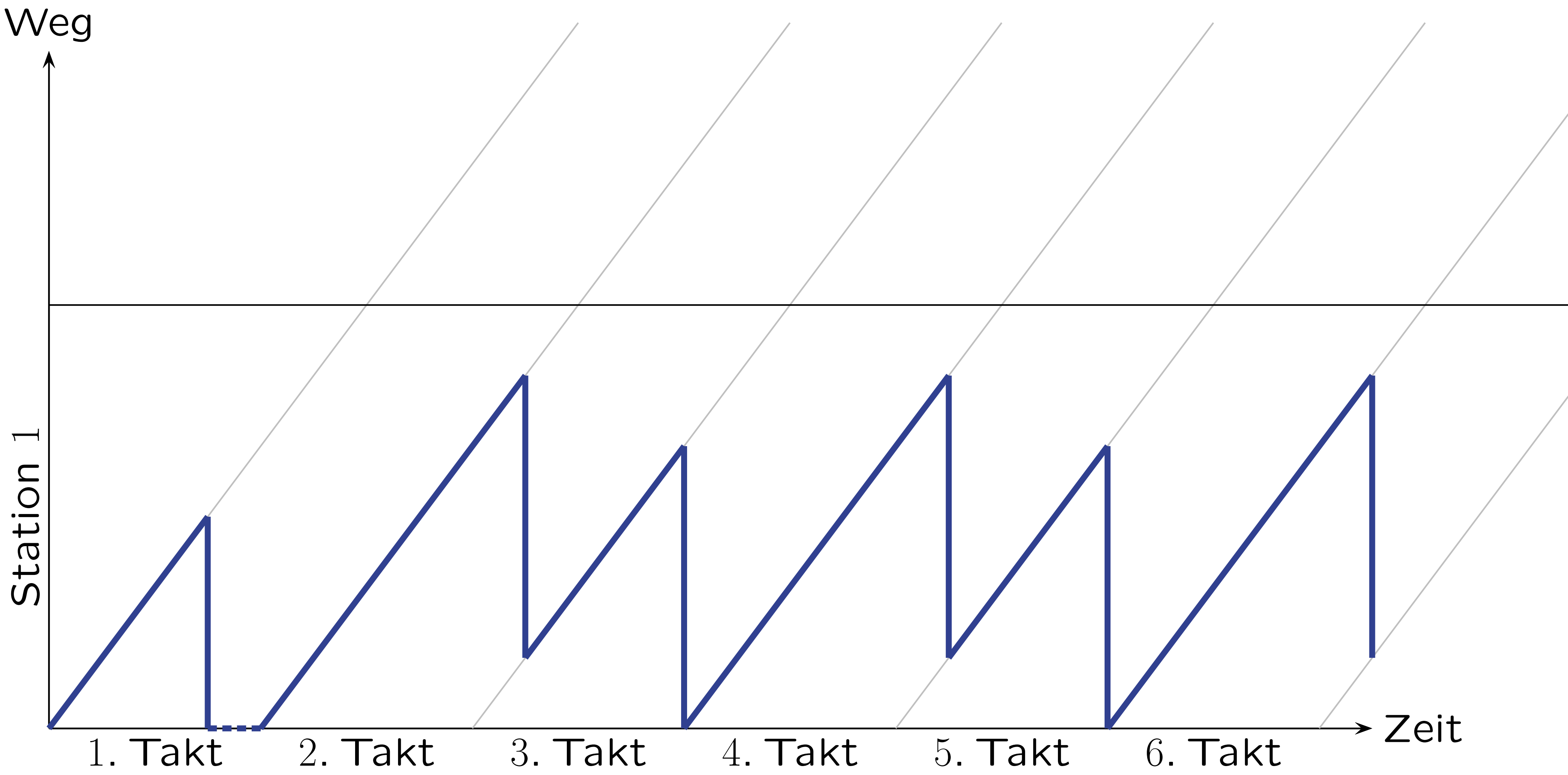
Zeit-Weg-Diagramm

Reihenfolge: A–A–A–B–B–B



Zeit-Weg-Diagramm

Reihenfolge: A–B–A–B–A–B



Ziel: **Glättung der Arbeitsbelastung** an den einzelnen Stationen

- **Level Scheduling** (variantenbezogen-bedarfsorientiert)
  - möglichst gleichmäßige zeitliche Verteilung der einzuplanenden Ausstattungsvarianten
  - Reduktion von Lagerbeständen
- **Car Sequencing** (variantenbezogen-kapazitätsorientiert)
  - alternierende Auflage von Varianten mit über- und unterdurchschnittlicher Arbeitsbelastung an den Engpassstationen
  - zulässige Einlastungsreihenfolgen in bezug auf gewisse Abstandsregeln
- **Mixed-Model Sequencing** (werkstückbezogen-kapazitätsorientiert)
  - optimale Reihenfolge der einzelnen Werkstücke mit möglichst wenig überdurchschnittlicher Arbeitsbelastung an den einzelnen Stationen
  - Reduktion der Taktzeitüberschreitungen