

Ökonomie von Warteschlangen

Prof. Dr. Helmut Dietl



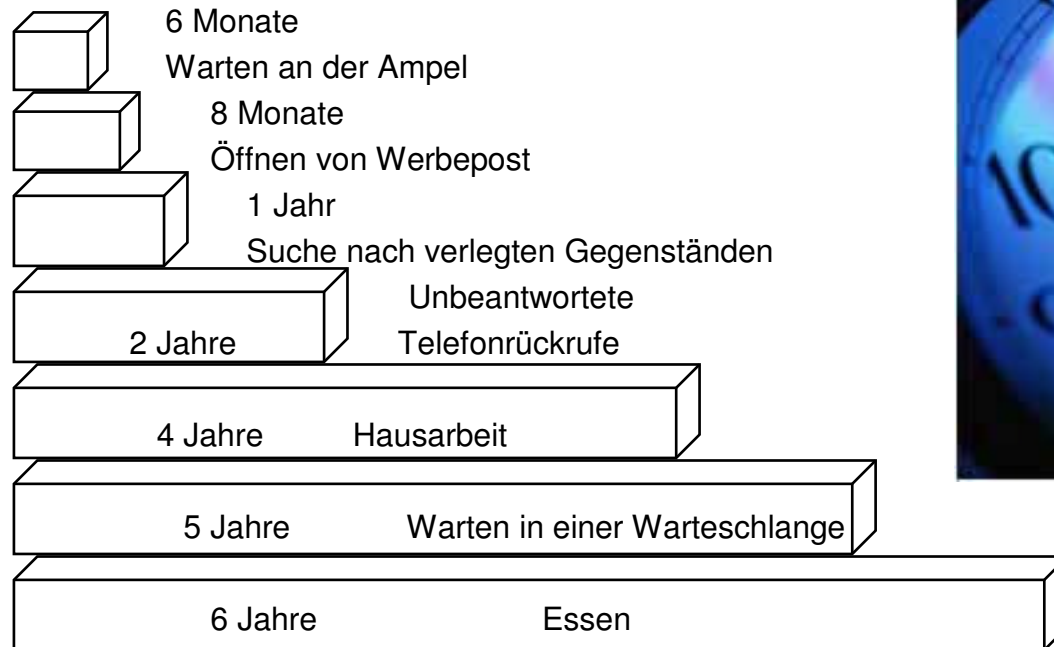
Lernziele

Nach dieser Veranstaltung sollten Sie wissen,

- warum Warteschlangen entstehen
- welcher Trade-off zwischen Warte- und Servicekosten besteht
- wovon das subjektive Wartezeitempfinden abhängt und wie es sich beeinflussen lässt
- aus welchen Grundelementen ein Warteschlangensystem besteht
- inwieweit poissonverteilte Ankunftsraten dem exponentiellverteilten Zeitabstand zwischen 2 Ankünften entsprechen
- welche Vor- und Nachteile unterschiedliche Reihenfolgeprinzipien besitzen

Wie zerrinnt unsere Zeit?

Soviel Zeit unseres Lebens
verwenden wir für--



Quelle: U.S. News & World Report, 30.1.1989, S. 81

Wartephänomene

- **Unausweichlichkeit:** Wartezeit ist das unausweichliche Ergebnis unterschiedlicher Veränderungen bei der Ankunftsrate und der Servicerate
- **Warteökonomik:** Hohe Serverauslastung kann nur durch durch Wartezeiten der Kunden erkaufte werden => Trade off zwischen Auslastung und Wartezeit
 - Auswege:
 - Produktive Wartezeit (Salatbuffet)
 - Profitable Wartezeit (Empfangsbar)

Erinnern Sie sich an mich?

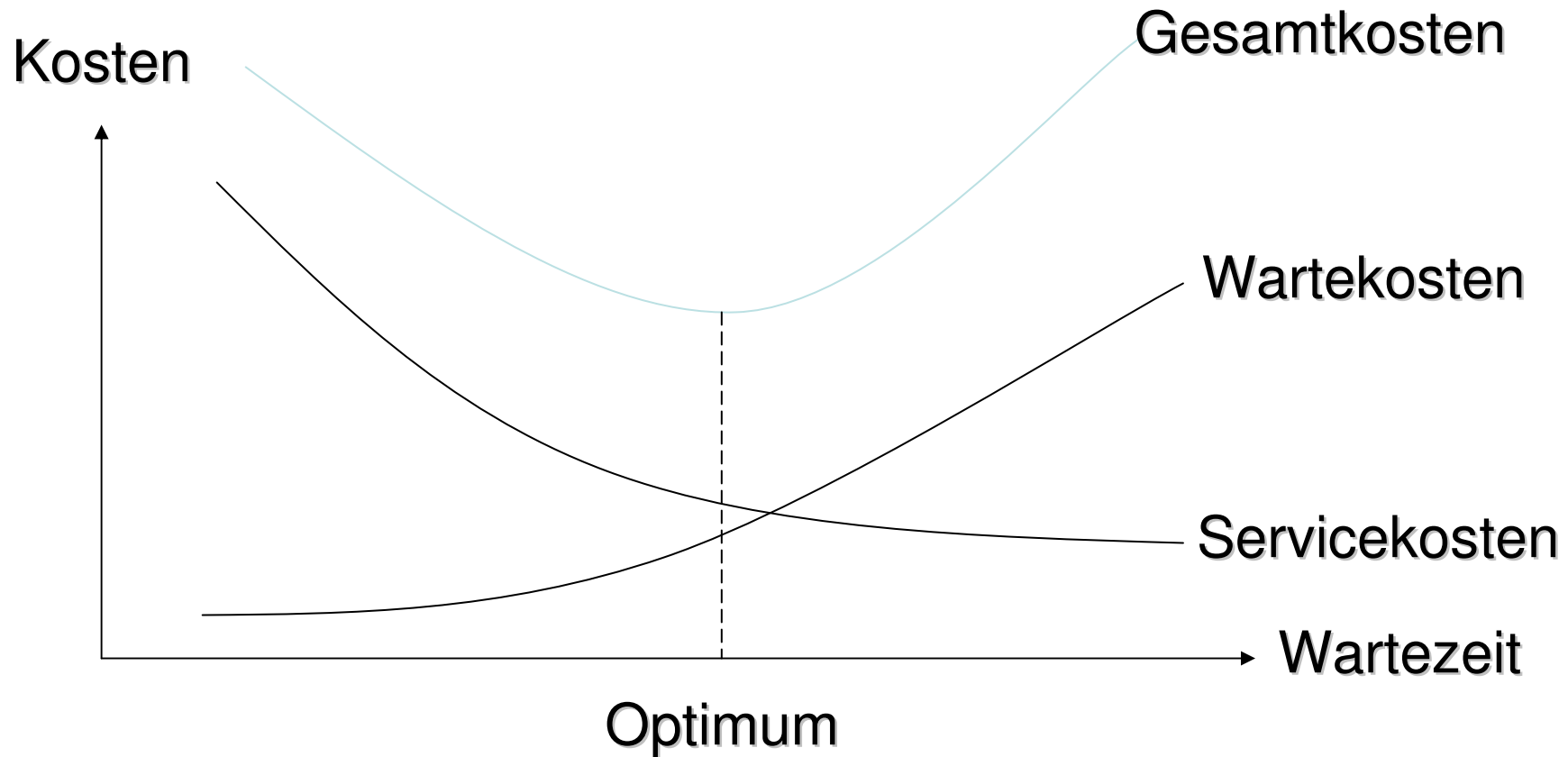
- Ich bin derjenige, der ins Restaurant ging und brav wartete, während der Kellner alles andere unternahm, als meine Bestellung aufzunehmen
- Ich bin derjenige, der in der Schlange wartete, bis der Schalterbeamte sein Privattelefongespräch beendete
- Ich bin derjenige, der *niemals zurückkommt*, und es macht mir Spaß zu sehen, wie viel Geld ausgegeben wird, um mich zurückzuholen
- Ich war da! Alles was ihr hättet tun sollen war, mich schnell und freundlich zu bedienen

Ihr (Ex-)Kunde

2 Komponenten des Warteschlangenmanagement

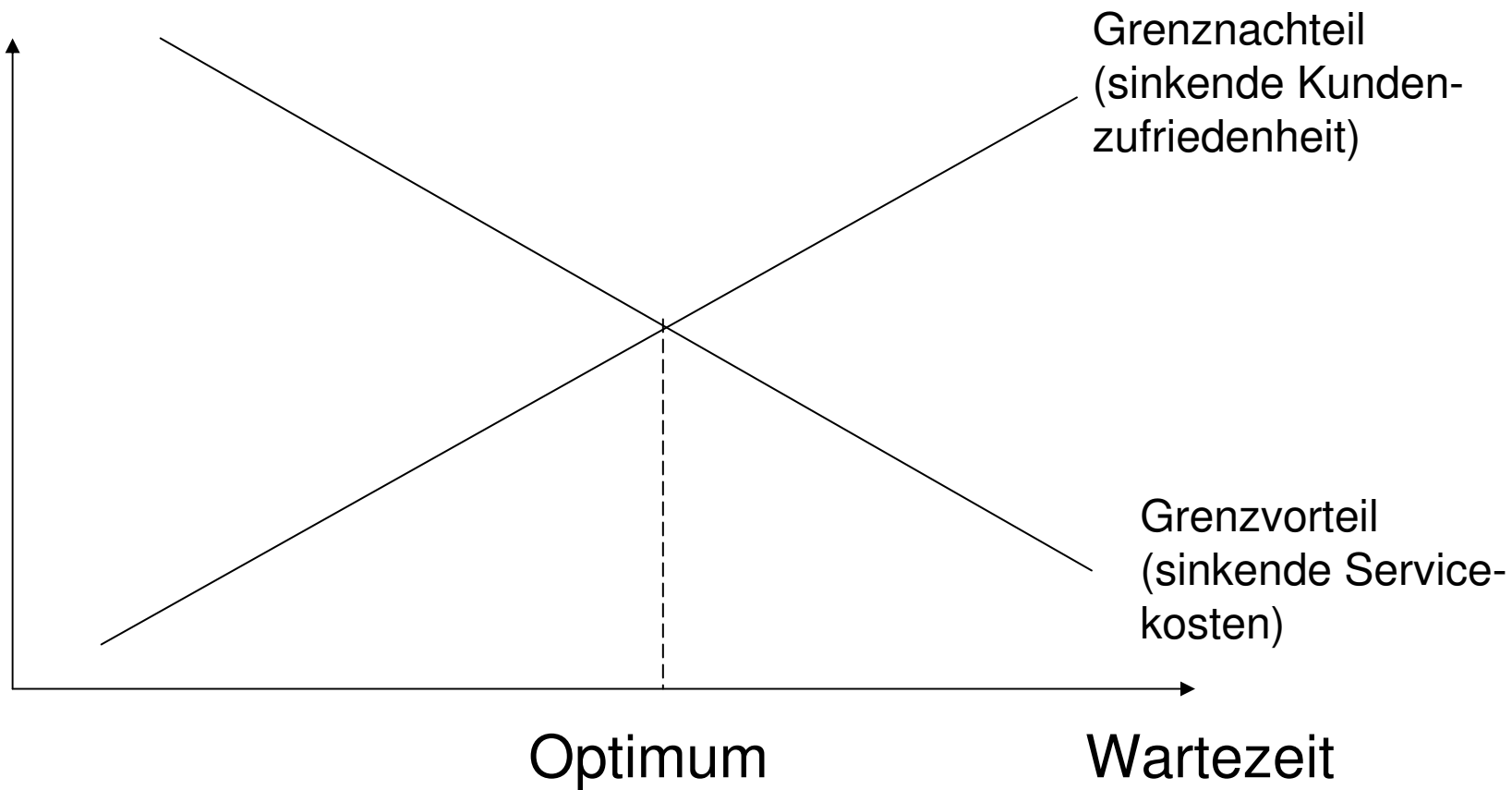
- Tatsächliche Wartezeit
 - Objektiv
 - Messbar
 - Warteschlangenmodelle
- Beispiel:
 - Verringerung der tatsächlichen Wartezeit durch zusätzlichen Hotelaufzug
- Empfundene Wartezeit
 - Subjektiv
 - Nicht messbar
 - Psychologische Studien
- Beispiel:
 - Verringerung der empfundenen Wartezeit durch Spiegel vor den Hotelaufzügen

Trade-off im Warteschlangenmanagement

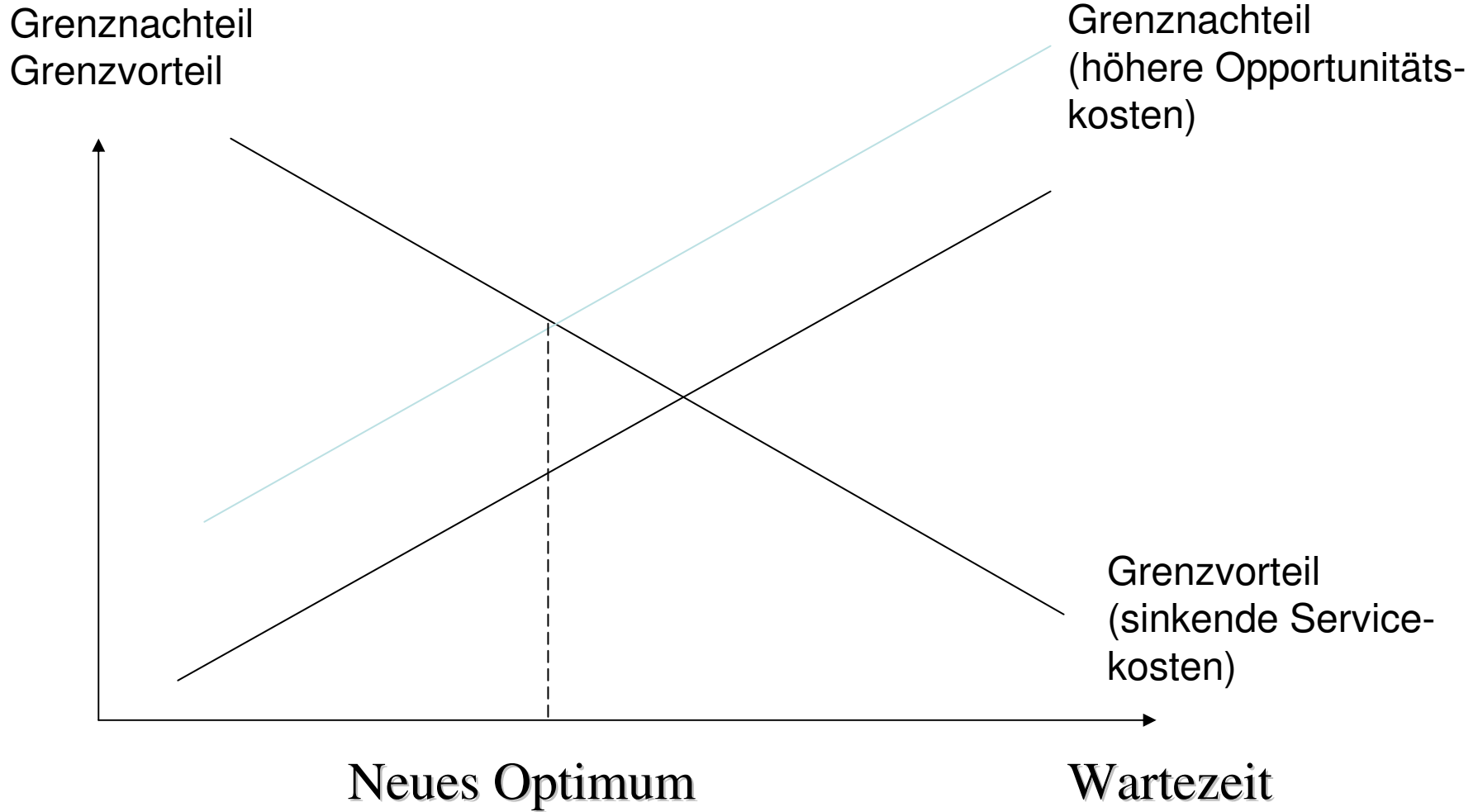


Trade-off-Optimierung

Grenznachteil
Grenzvorteil



Trade-off und Opportunitätskosten



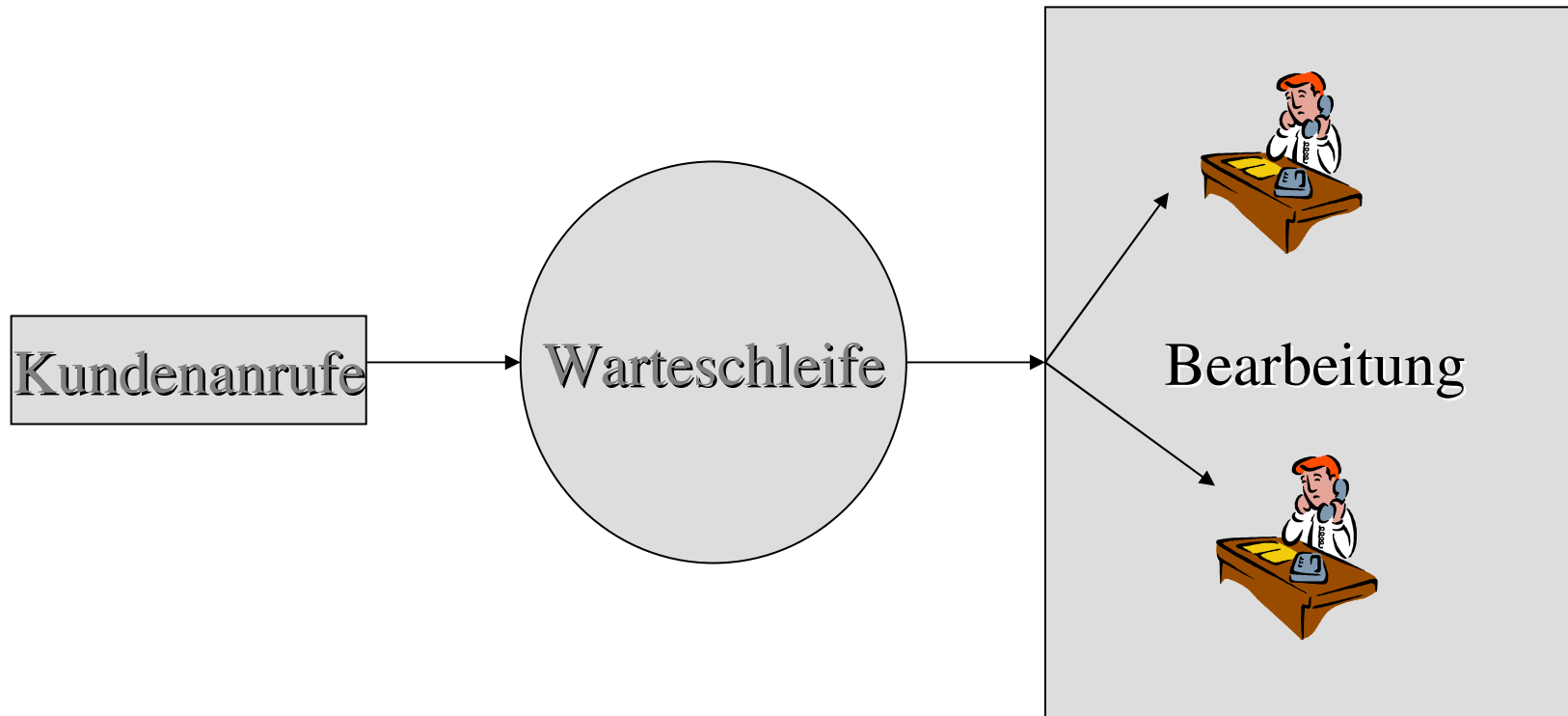
Warteschlangenpsychologie

<i>Subjektives Zeitempfinden länger</i>	<i>Subjektives Zeitempfinden kürzer</i>
Warten ohne Ablenkung/Beschäftigung	Warten mit Ablenkung/Beschäftigung
Unerwartete Wartezeit	Geplante Wartezeit
Allein warten	In der Gruppe warten
Wartezeit außerhalb des Serviceprozesses	Wartezeit innerhalb des Serviceprozesses
Besorgtes Warten	Entspanntes Warten

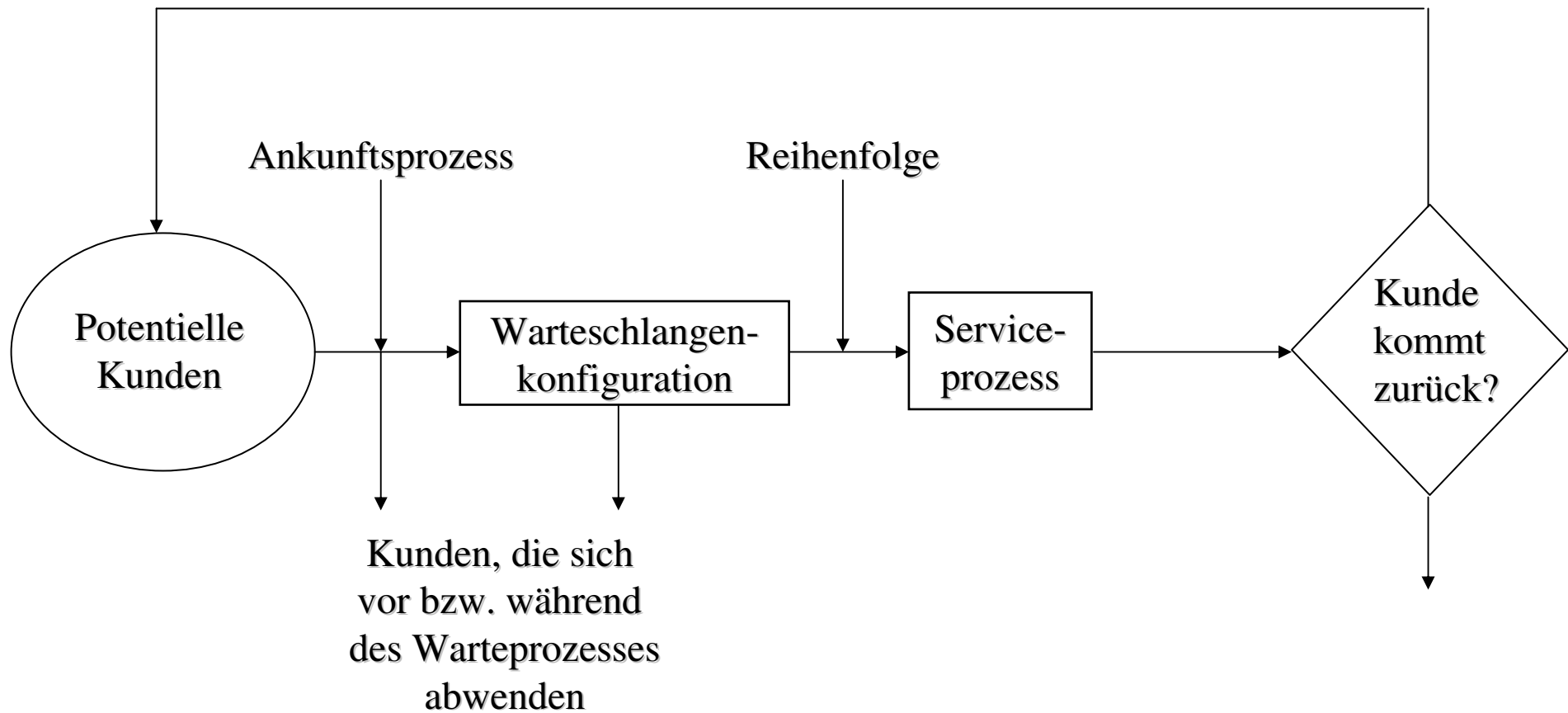
Verringerung der empfundenen Wartezeit

- Gerechte vs. ungerechte Wartezeiten
 - Nummern- und Einschlangensystem (aber: Supermarkt), keine Telefonanrufe!
- Bequeme vs. unbequeme Wartezeiten
 - Empfangsbar in Restaurants, Bestuhlung, Unterhaltung
- Erklärte vs. unerklärte (besorgniserregende) Wartezeit
 - Abflugverzögerung wegen Enteisung der Tragflächen
- Beschäftigtes vs. beschäftigungsloses Warten
 - Wartelounge mit Fax- und Internetanschluss
- Wartezeiten außerhalb vs. innerhalb des Systems
 - Vorprogramm im Kino

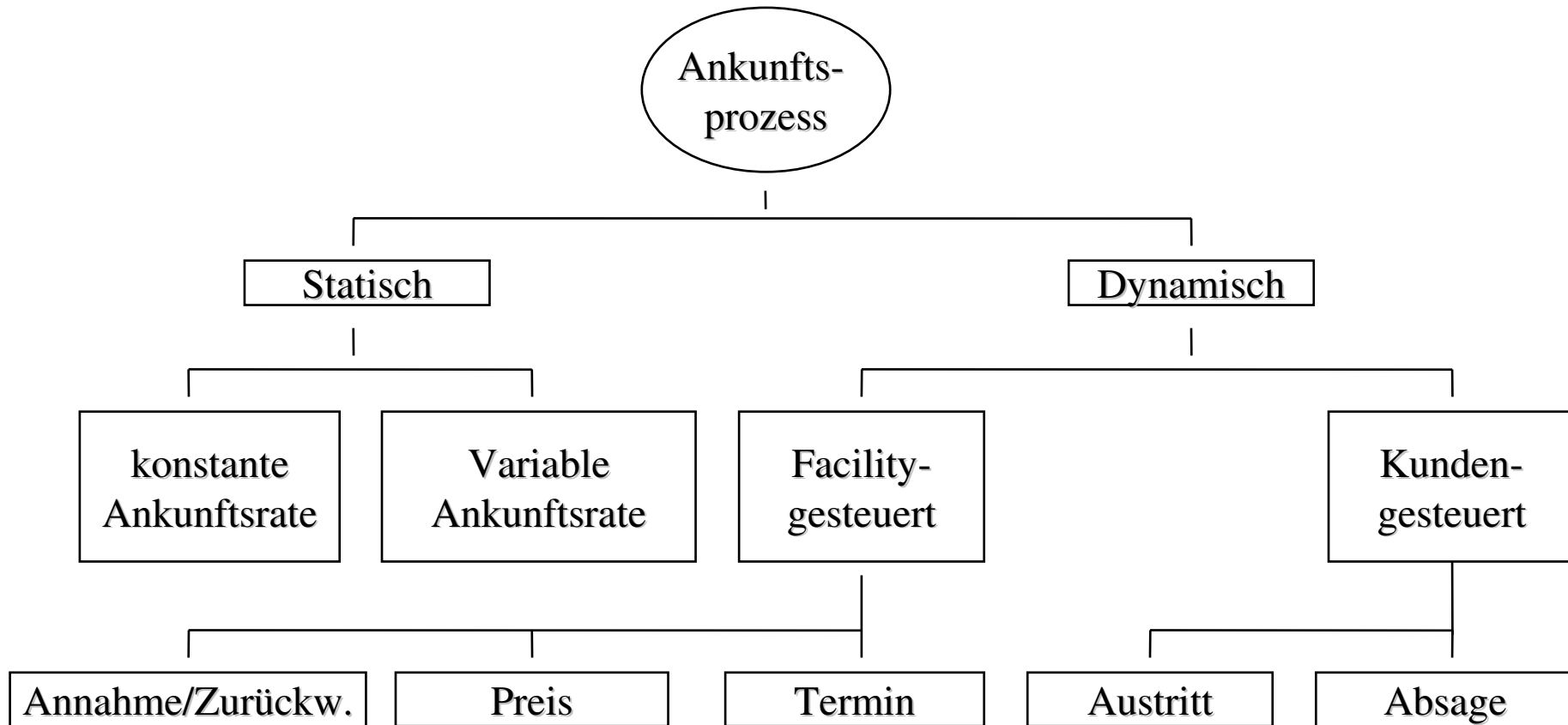
Warteschlangensysteme



Grundelemente von Warteschlangensystemen



Ankunftsprozess



Exponentialverteilung (stetig)

Dichtefunktion:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

$$t \geq 0$$

λ = durchschnittliche Ankunftsrate pro Zeiteinheit (z.B. Minuten, Stunden, Tage)

t = Zeitabstand zwischen 2 Ankünften

e = 2.718...

Verteilungsfunktion:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

$$t \geq 0$$

Mittelwert:

$$1 / \lambda$$

Varianz:

$$1 / \lambda^2$$

Poissonverteilung (diskret)

Dichtefunktion:

$$f(n) = \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!}$$

$$n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

λ = durchschnittliche Ankunftsrate pro Zeiteinheit (z.B. Minuten, Stunden, Tage)

t = Anzahl der Zeitperioden (i.d.R. 1)

n = Anzahl der Ankünfte (0, 1, 2, ...)

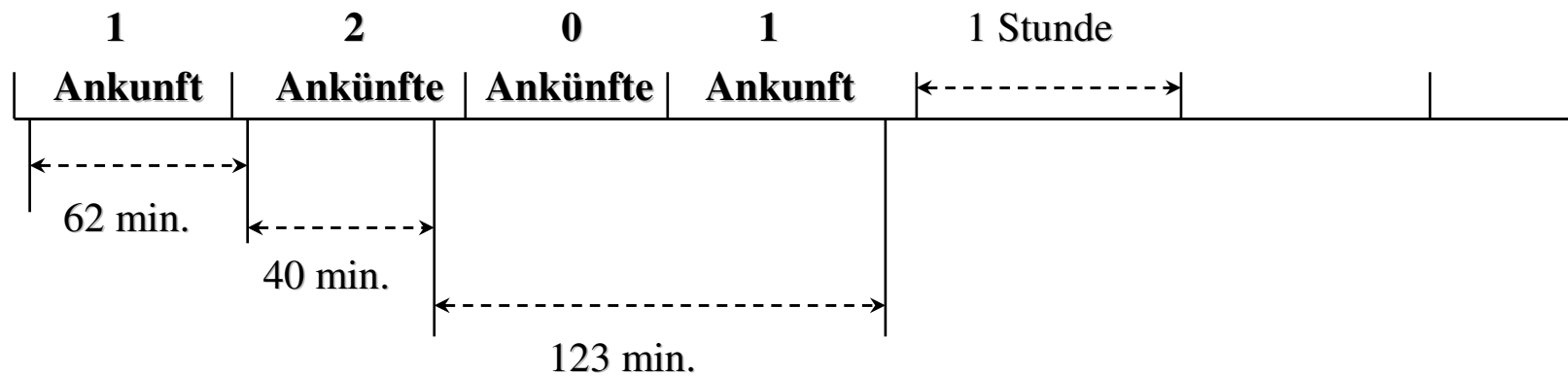
$e = 2.718\dots$

Mittelwert: λt

Varianz: λt

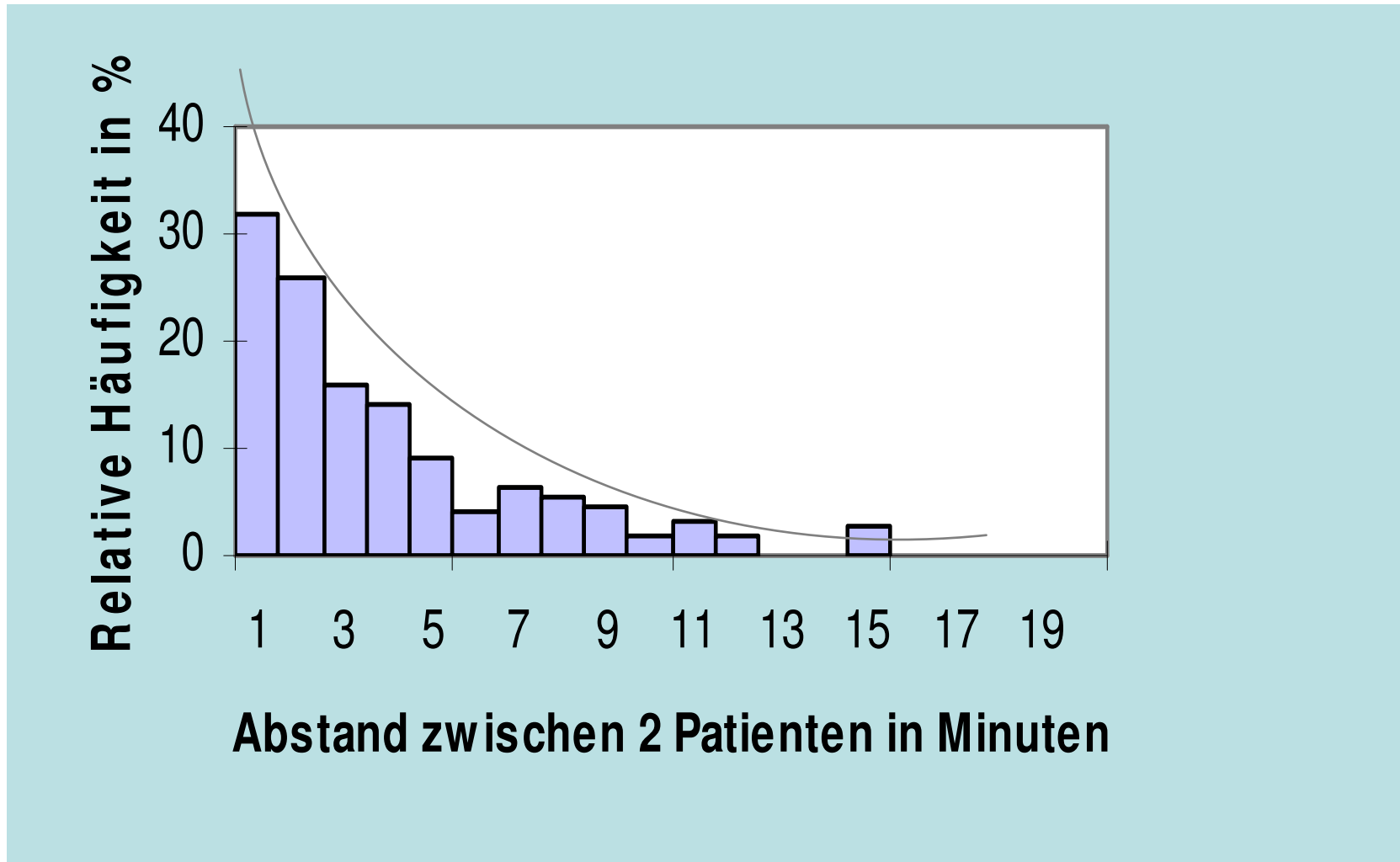
Äquivalenz zwischen Poisson- und Exponentialverteilung

Poissonverteilung für die Anzahl der Ankünfte pro Stunde (oben)

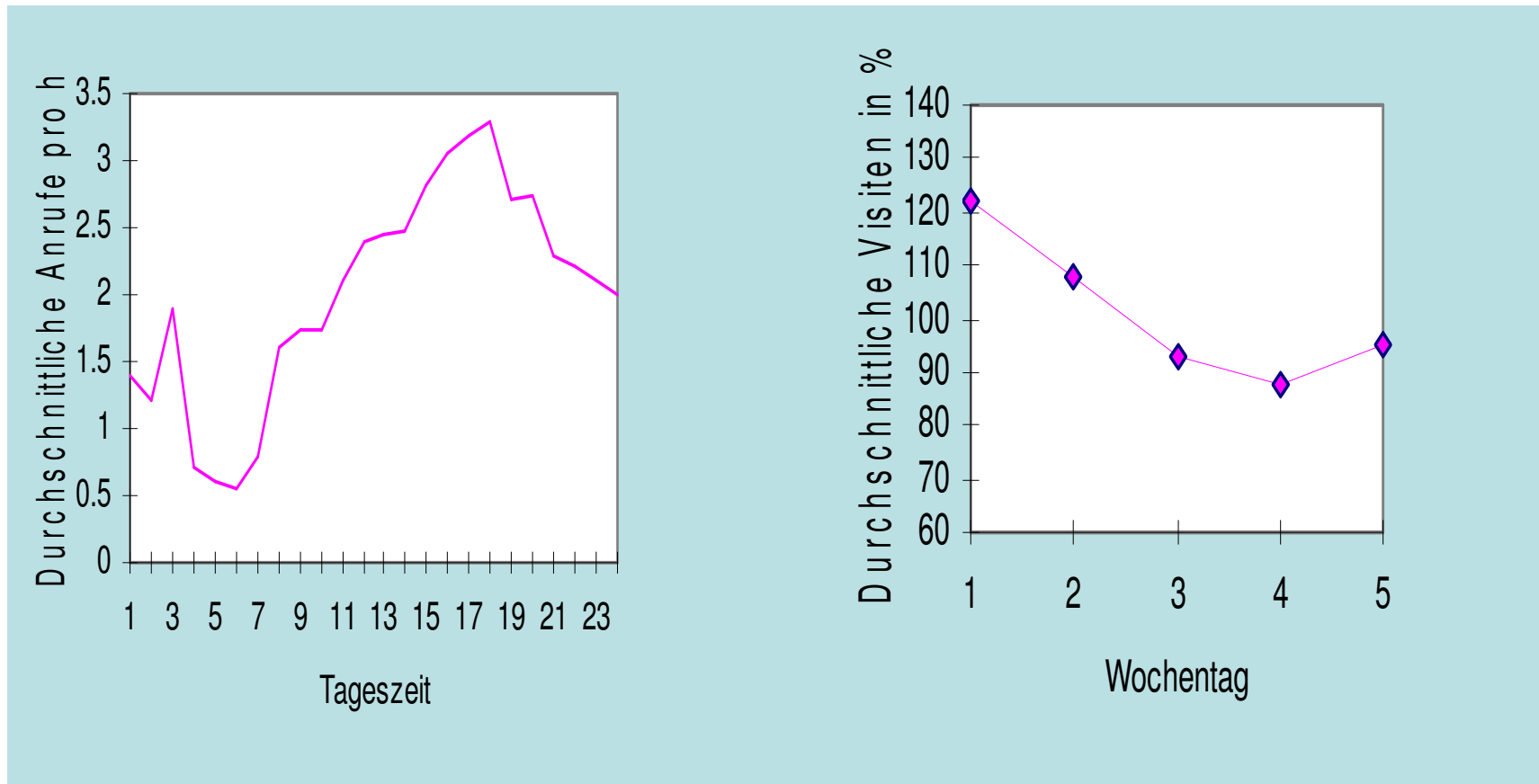


Exponentialverteilung der Zeitabstände zwischen 2 Ankünften in Minuten (unten)

Verteilung des Ankunftszeitenabstands

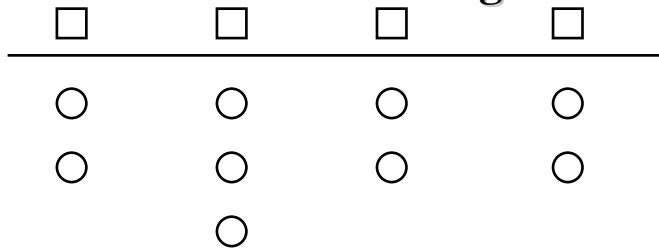


Zeitliche Variation der Ankunftsraten

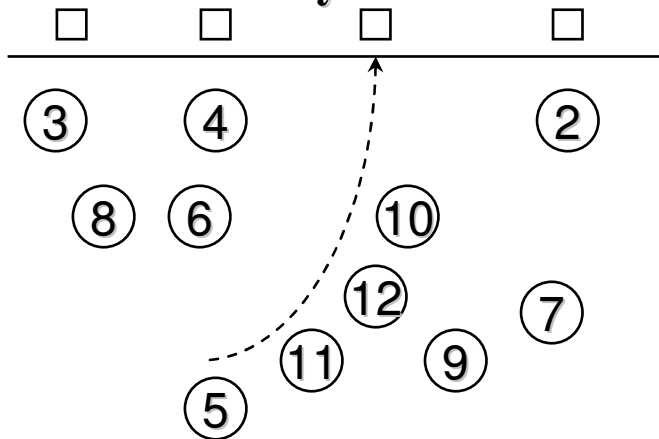


Warteschlangenkonfiguration

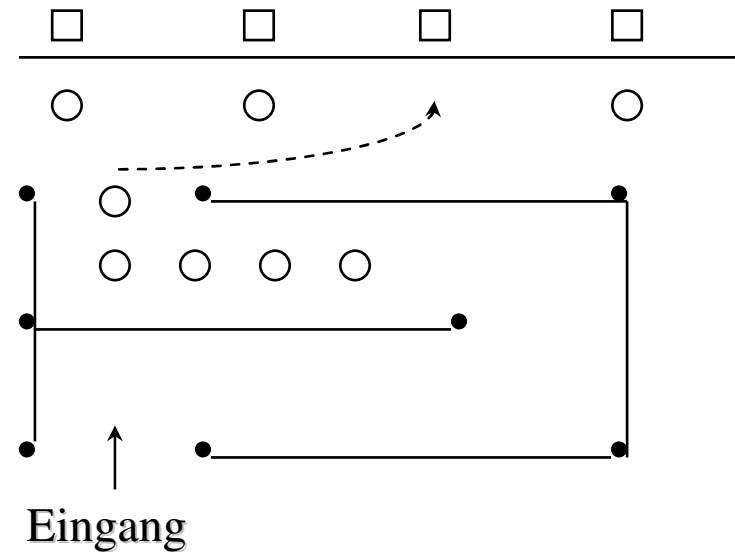
Mehrere Warteschlangen



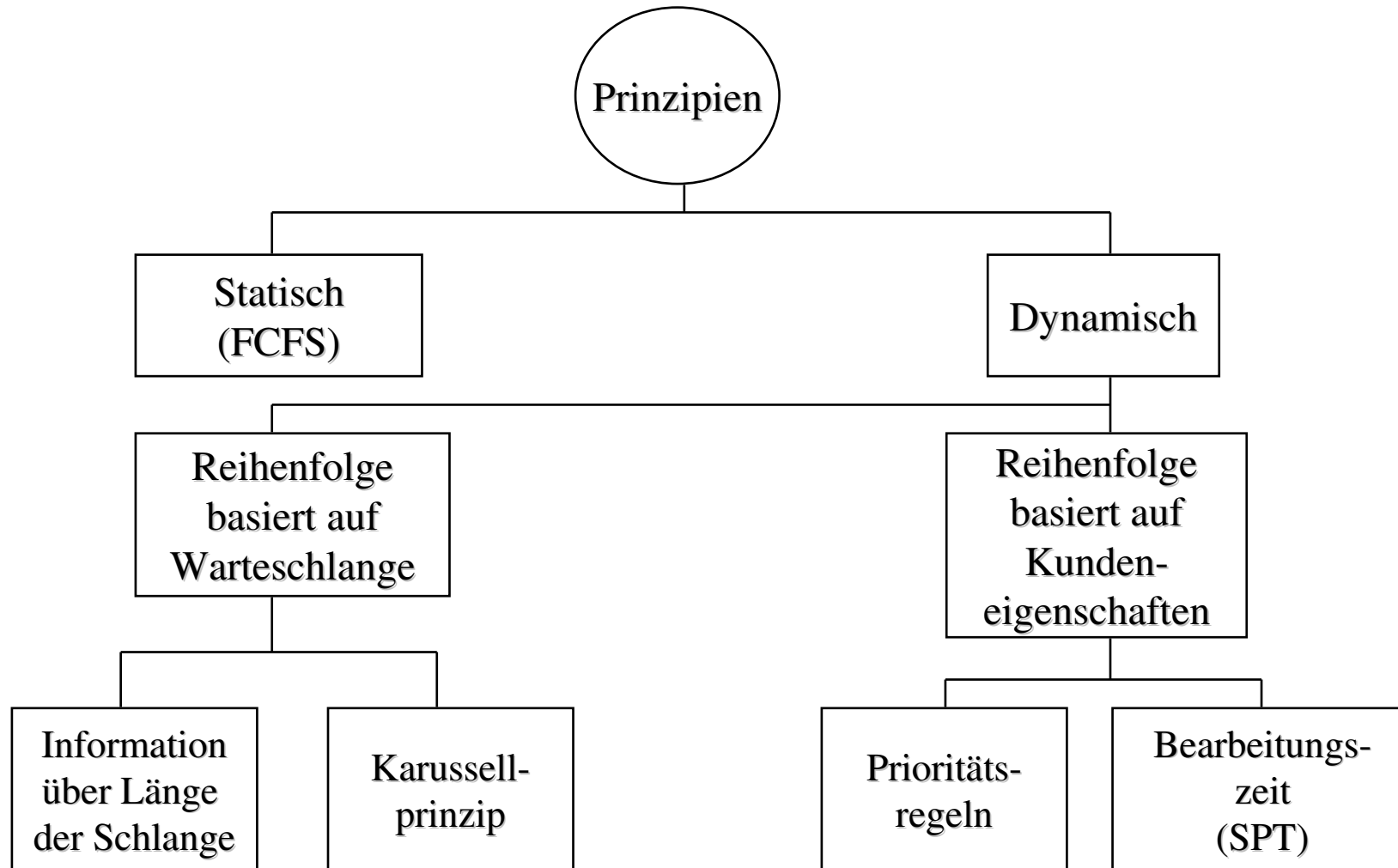
Nummernsystem



Eine Warteschlange



Reihenfolge



Serveranordnung

<i>Servicefacility</i>	<i>Serveranordnung</i>
Parkplatz	Selbstbedienung
Cafeteria	Server hintereinander
Mautstelle	Server parallel
Supermarkt	Selbstbedienung (1. Stufe); Parallel-Server (2.Stufe)
Krankenhaus	Viele Servicecenter (parallel und hintereinander)
